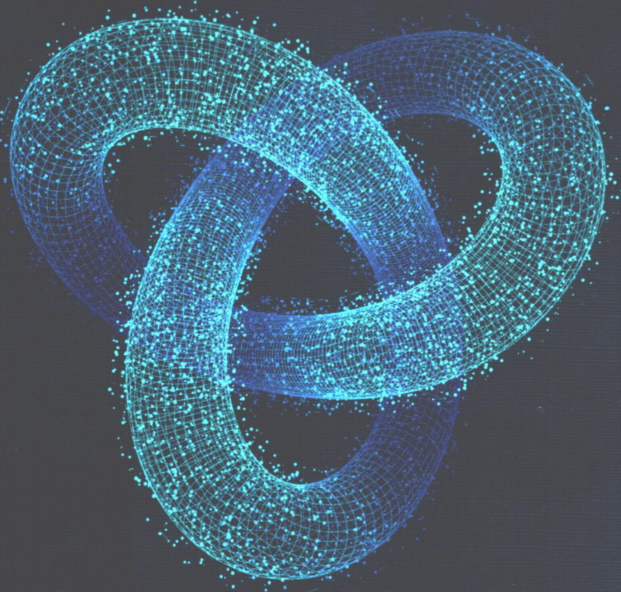
LEE SMOLIN

FİZİĞİN KRİZİ



Sicim Kuramının Yükselişi, Bilimin Düşüşü ve Sonrası

ALFA | BİLİM

Fiziğin Krizi

The Trouble With Physics

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Çeviri Tonguç Rador
Redaksiyon Mehmet Ata Arslan
Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

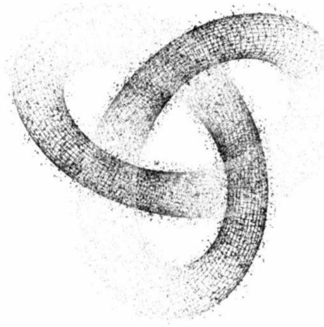
ISBN 978-605-171-642-8
1. Basım: Şubat 2018

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

LEE SMOLIN

FİZİĞİN KRİZİ



Sicim Kuramının Yükselişi, Bilimin Düşüşü ve Sonrası

Çeviri
Tonguç Rador

ALFA | BİLİM

İçindekiler

Kısım III
SİCİM KURAMININ ÖTESİ

Kısım IV
DENEYDEN ÖĞRENME

ÇEVİRMENİN ÖNSÖZÜ

Elinizdeki çevirinin bitmesi birçok sebepten ötürü uzun zaman aldı. Gecikmenin sebepleri arasında kendime has bir yavaşlığın yanında yakın zaman diliminin çalkantılarının yarattığı yorgunluğun da kısmen rol aldığını söylemeliyim. Son yıllarda fizikte ve dünyada pek çok şey oldu. Öte yandan kaygılarımın bir kısmını da, CERN'deki LHC hızlandırıcısında yapılan deneylerin getirebileceği olası sonuçların, kitabın parmak bastığı bazı temel noktaları gölgede bırakabileceği, önemsiz bir ayrıntı gibi gösterebileceği, hatta böyle olduğunda yandaşlarının "canım işte sonuçta süpersimetri doğru çıktı demek ki sicim kuramı[1] da doğru olmalı, bugünlere nasıl gelindiği önemli değil" türü bir geçiştirmeyle indirgeyebileceği olasılığı oluşturdu.

Ama raporlara göre CERN deneyleri henüz süpersimetri bulmadı; artık, kendi gençliğimde pazarlandığı manada *doğal,*[2] *ince ayar gerektirmeyen* bir kuram olarak da bulacak gibi görünmüyor. Kısacası kendi gençliğimde bu kuram üzerinde neden çalışmak gerektiğinin dayandırıldığı en temel savlardan biri kenara itilmek zorunda kaldı. Bundan tabii ki süpersimetrinin dün yanlışlandığı anlamı çıkmaz, yarın doğrulanacağı anla-

---

1 Sicim kuramı kitabın içeriğinden de anlaşılacağı gibi bir *Tüm Şeylerin Kuramı*'dır ve tutarlılık için süpersimetriye ihtiyaç duyar. Süpersimetri şu anda *gözlenmiş* her parçacık için henüz *gözlenmemiş* bir başka *ortak* parçacık olduğunu iddia eder. Bu ortaklar arasındaki bakışıma verilen ad, biraz iddalı olsa da, *süper* simetridir.

2 Gerard 't Hooft, Nobel Ödülü aldıktan sonra doktora öğrencisi olduğum Boston Üniversitesi Fizik Bölümüne davet edilmişti. Hatırladığım kadarıyla konuşmasında Higgs parçacığının doğallık sorununu bir iskemleyi tek ayağı üzerinde çok uzun bir yol boyunca yönelimini bozmadan çekme zorunluluğuna, süpersimetrinin getirisinin de bunu sandalyenin iki ayağı üzerinde yapmamıza olanak vermesine benzetmişti. Bu bağlamda ifade etmek isterim: Teknik olarak dört ayak üzerine düşen kuramlar da vardı ama bunlar da deneylerin sonuçlarıyla savrulup gittiler.

mı çıkmadığı gibi. Hatta fizik tarihinde birçok muzaffer kavram en başta yanlış temellendirilmiş ve nihayetinde tutarsız olduğu anlaşılmış fikirlerle savunulmuştur. Yine de bu durum bana 20. yüzyılın son yıllarında doktora öğrenimimi yaparken bazılarından duyduğum kibir dolu süpersimetri savunularını hatırlatmıyor değil. Bu, trajikliğini savunmanın pek de zor olmayacağı bir hubris örneği olarak görülebilir. Aslında bu tür tutumlar LHC deneyleri yaklaştıkça –her araştırma alanında– biraz azaldı; insanlar ya heyecandan nefesini tutmuştu ya da deneysel yanlışlanmaya bu kadar yakın olmak ve bununla hatırlanmak korkusu tedirginlik yaratıyordu ve bir satranç oyuncusunun önermiş olduğu gibi hata yapmamak için ellerinin üstüne oturmuş ve suskundu. Günümüzde de deneylerin ışığında eskiye nazaran biraz daha aklı selim hakim gibi.

Öte yandan doktora çalışmamda da yer alan ve Higgs mekanizmasının doğal olarak kararlı hale getirilmesine yarayan süpersimetrik olmayan bazı kuramlar da o zamanki halleriyle artık kuramsal fiziğin dışına savruldular. Fakat bu bahsettiğim kuramlar zaten hiçbir zaman süpersimetri ya da sicim kuramı gibi ana akım araştırma dalı olmamışlardı; böylece sahneden ayrılışları da pek melodram yaratmadı. Sessizce *exeunt omnes*. Ama süpersimetri ya da sicim kuramı bahis konusu olunca sonsuza ıraksayacak bir son perde olasılığı sıfır değil. Onlar için uzun süre boyunca geç dönem yaylı dörtlüleri yazılabilecek gibi duruyor.

Elinizdeki kitabın temel fikri, deneysel desteği olmamasına rağmen baskın hale gelmiş bir araştırma programının kuramsal fiziğin doğanın temel ilkeleri üzerine yoğunlaşan kısmının ilerlemesini yavaşlatmış ve kitabın sloganını kullanırsak krize sokmuş olduğu iddiasıdır. Serim, kitapta oldukça detaylı yapıldığından burada bir açılım yapmaya gerek görmüyorum. Yine de içeriğinde yer alan bazı fiziksel örneklerin kitabın ilk basımından bu yana yapılan deneyler sonucu konumsal değişime uğradıklarını söylemek isterim. Fakat bu değişimler Smolin'in bahsettiği sosyolojik ve felsefi açıları bence geçersiz kılmıyor. Eğer bu kitap ilk defa bugün basılıyor olsaydı örnek zorluğu yine çekilmezdi.

Smolin bir bütün olarak bilim camiası için yazıyor ve bunun bir sosyolojisi olduğunu ifade etse de bu sosyolojinin coğrafi ayrımlarına değinmiyor. Bir hiyerarşiden bahsediyor ama hiyerarşilerin de yine çoğunlukla coğrafi bir iç hiyerarşisi olduğunu irdelemiyor. Kitabın temel amacı da zaten bunlar üzerinden yürümeye elverişli olmazdı. Fakat kitabın ilk basımından sonra geçen zaman zarfında bilimde olanların hatırlanması bu çevirinin okunmasında bir açı olmalıysa aynı şekilde Smolin'in değinmediği coğrafi farklılıklar da çevirinin Türkiye'de okunmasında önem arz etmeli.

Smolin aynı zamanda eğer bir ana akım araştırma programı deneysel desteklerin yokluğunda bile kaynakların çoğuna hakim hale gelirse buna yeteri kadar direnmeyi ve alternatif fikirlerin de –belki yine alternatif kaynaklarla– desteklenmesini öneriyor. Şunu söyleyebiliriz diye düşünüyorum: Eğer ana akım araştırma programı merkez ise –yani kaynakların çoğunu sağlayan ve konunun önderlerinin çoğunu barındıran bir bölge– bu alternatif araştırma konuları sadece kuramsal olarak değil, coğrafi ve hiyerarşik olarak da çeperlerde yer alır. Bu çeperlerin varlığı, kuramsal fiziğin, doğanın temel işleyişinin ilkelerini araştırmasını zenginleştirmeye ve hatta merkezin de akıl sağlığını korumasına yardımcı olmaya yarayabilir. Çünkü yine Smolin'in dediği gibi bahsedilen tür bir ana akım çoğu zaman moda fikirlere, grup psikolojisine, problemlerin sadece kısmi bir irdelenmesine, dikkatlerin çabucak başka yönlere kaymasına ve bunun gibi diğer sorunlara yol açabilmektedir.[3]

Hatta şunu da söyleyebiliriz diye düşünüyorum: Bir ana akım araştırma programı, merkezin bilim politikasının, sosyolojisinin ve ekonomisinin mekanizmalarıyla ve/veya apaçık bir şekilde programın aciz kalması sonucu –ama yine deneysel desteğin yokluğunda– merkezde rağbetten düşerse, merkezde kaynaksız kalacak bir çekirdek, çeperdeki kaynaklara yönelme

3 Okuyucu fark etmiştir; bu sorunların çoğu hızla alakalıdır. Bu da günümüz dünyasının temel patolojilerinin bilime rahatça sirayet edebileceğini gösteriyor.

yoluna gidebilir. Bu kaynaklar sadece zihinsel kaynaklar değildir, aynı zamanda ekonomik[4] de olabilirler.[5]

Zamanında Türkiye'ye dönme kararını almamdaki önemli bir sebep, rahat ve kaygısız bir şekilde araştırma konularımı seçebilme isteğiydi. Maaşımın kuramsal temel fiziğin hangi alanında araştırma yapacağıma bağlı olmayacağı düşüncesi çok cazipti. Bunda başarılı olduğumu ve bunun da o zamanlar buradaki kuramsal fizik ortamının deyim yerindeyse görece[6] liberal olması sayesinde gerçekleştiğini biliyorum. Elde etmiş olduğum bu avantajın yeni nesiller için de erişilebilir kalmasını canı gönülden istiyorum.

Bu tür bir yaklaşımı benimsemeye meyilli kuramsal temel fizik öğrencileri için kısaca ifade edeceğim bazı öneriler olacak. Kuramsal temel fiziğe yönelmek isteyen gençlerin bence ilk olarak bu kitapta bahsi geçen kuramsal temel fiziğin beş merkezi sorununu iyice kavramaları, deneysel olarak başarılı olmuş kuramları tam olarak öğrenmeleri ve bunların neden bu sorunlara yol açtığını iyice irdelemeleri gerekir. Burada sorunların sayısına ya da nasıl ifade edildiklerine veya sırasına yoğunlaşmaktan ziyade bunların birbirleriyle ilişkilerini ve çelişkilerini kavramak ve bu yolda olumlu ve oldubitticilikten uzak sağlıklı bir kuşkuculuğu hep koruyarak yürümek gerekir. Kanımca makul bir felsefe okuması da buna eşlik etmelidir. Birçok öğrenci içeren geniş grupları yöneten bazı genç kuramcı akademisyenlerin felsefi yaklaşımlar söz konusu olduğunda irkildiklerini şahsen

---

4 Örneğin Türkiye uzun zaman beyin göçü vermiş bir ülkedir. Ama artık günümüzün iletişim ortamında fiziksel bir beyin göçü mecburi değildir ve bu sonuç olarak buradaki bazı kaynakların da bu duruma eklemlenmesine yol açar, bu da parmak bastığım noktanın ekonomik vehçesini oluşturur.

5 Deneysel desteği henüz olmayan ana akım bilimin emperyal bir yönü olabileceğini güçlü bir şekilde iddia etmesem de, ifadelerimde bunun tınısının yer aldığının farkındayım. Fakat bu tınıları harmonik bir şekilde sermek hacimli bir partisyon gerektirirdi. Bu bağlamda şunu da belirtmek isterim: Kitapta iki yerde Marksizm kelimesi pek yüzeysel ve kanımca pek yanlış bazı benzetmeler düzleminde geçiyor. Aynen çevirdim.

6 *Merkeze* göre.

biliyorum[7]; ve zaten bu açılardan yapılan irdelemeler elinizdeki kitapta da bolca var. Bu tür tutumlara direnmek gerekir. İnsanlığın biriktirdiği tüm bilgi *bizim*, sadece bir kısmı değil.

Bu aşikâr önerileri yapmakta ısrarcı olmamda basit bir gözlem yatıyor: Yine kitabın bahsettiği gibi sicim kuramı üzerine çok uzun bir süre çok sayıda yetkin insan emek vermiş olmasına rağmen kuramın doğayla bağı henüz kurulabilmiş değildir. Kanımca böylesi bir durumda diğer bir bölgede yalnız kazı yapmak en azından daha rahat, daha güvenli, daha yavaş ve daha *siz* olacaktır. Ve eğer amacınız bilime katkıda bulunmak ve bununla memnun olmaksa bu yaklaşım şansınızı artırmasa bile bence azaltmayacaktır da.

İzmir, Gülbahçe
Şeb'i yelda, 2017

[7] Örneğin şöyle diyebilirler: *X'i okumak birini daha iyi bir fizikçi yapmaz.* Önermedeki hubrisi gözardı etsek ve hatta doğru olduğunu bile kabul etsek şunu hemen söyleyebiliriz: *X'i okumamak da birini daha iyi bir fizikçi yapmaz. X* yerine favori felsefecinizi koyun. Bu şekilde konuşan biriyle karşılaştığınızda da ümitsizliğe kapılmayın onlarla hâlâ havanın yağmurlu olup olmayacağı, denize cemrenin düşüp düşmediği ya da iyi bir kahvenin nitelikleri ve hatta kabul görmüş ve deneysel sınamalardan geçmiş doğa kuramları üzerine sohbet edebilirsiniz.

TEŞEKKÜRLER

Kitaplar bir fikirle başlar, bu kitabın fikrini John Brockman'a borçluyum çünkü demokrasi ile bilim arasındaki ilişki hakkında belirsiz bir akademik yazıdan daha fazlasını yapmak istediğimi fark etti. Bu kitabın içerdiği fikirlerden biri bu, ama öngördüğü gibi fikri belirli bir bilimsel çerçevede ele alınca savlar daha güçlü hale geldi. Ona ve Katinka Marson'a bitmez destekleri ve üçüncü kültürü oluşturan camiaya beni davet ettikleri için teşekkür borçluyum. Bana kendi uzmanlık alanımı aşan bir çerçeve sundukları için hayatımı değiştirdiler.

Hiçbir yazarın Amanda Cook'dan daha iyi bir editörü olmadı ve buradaki iyi her şeyin onun yönlendirmelerine ve müdahalelerine dayandığını kabul etmek nerdeyse utandırıcı. Sara Lippincott da her yazarın uğruna çok şey feda edeceği bir kesinlik ve güzellikle işi nihayete erdirdi. İkisiyle de çalışmak bir onurdu. Holly Bemiss, Will Vincent ve Houghton Mifflin'de çalışan herkes bu projeye hevesle ve beceriyle sahip çıktı.

Geçen on yıllar süresince, birçok meslektaşım, kozmoloji, süpersimetri ve sicim kuramı hakkında bilgimi genişletmeme yardım etti. Zamanlarını ayırdıkları ve sabırlı oldukları için özel olarak teşekkür etmek istediklerim arasında: Nima Arkani-Hamed, Tom Banks, Michael Dine, Jacques Distler, Michael Green, Brian Greene, Gary Horowitz, Clifford Johnson, Renata Kallosh, Juan Maldacena, Lubos Motl, Hermann Nicolai, Amanda Peet, Michael Peskin, Joe Polchinski, Lisa Randall, Martin Rees, John Schwarz, Steve Shenker, Paul Steinhardt, Kellogg Stelle, Andrew Strominger, Leonard Susskind, Cumrun Vafa ve Edward Witten'ı saymak istiyorum. Eğer hâlâ fikir ayrılığı içindeysek umarım bu kitabın nihai bir söz olmadığı ama onların çabalarına yönelik saygımla ve beğenimle bezediğim ve hâlâ süregiden tartışmaya bir katkı olarak dikkatlice oluşturmaya çalıştığım bir fikir ol

duğu açıktır. Eğer doğa on bir boyutlu ve süpersimetrik çıkarsa zaferlerini ilk alkışlayan ben olacağım. Ama şu anda, uzun bir düşünme sürecinden sonra, bunun neden pek de olası olmadığını düşündüğümü açıklamama fırsat verdikleri için önceden teşekkür ederim.

Bu akademik bir tarih çalışması değil, ama öyküler anlatıyorum; birçok meslektaşım ve arkadaşım bana zamanlarını ayırdılar ve böylece birtakım söylenceler yerine gerçek öyküler anlatabildim. Julian Barbour, Joy Christian, Harry Collins, John Stachel ve Andrei Starinets tüm kitap hakkında bana detaylı bilgiler sağladılar. Kalan hatalar, şüphesiz, benim sorumluluğumda; kitabı okunur kılmak için aldığım bazı kararların sonuçları da. Kitap üzerinde düzeltmeler ve gelişen fikirler bir ağ sayfasında sunulacak. Kitabı okuyan ve çok faydalı eleştiriler getiren arkadaşlarım ve aile üyelerim arasında, Cliff Burgess, Howard Burton, Margaret Geller, Jaume Gomis, Dina Graser, Stuart Kauffman, Jaron Lanier, Janna Levin, Joao Magueijo, Patricia Marino, Fotini Markopoulou, Carlo Rovelli, Michael Smolin, Paulin Smolin, Roberto Mangabeira Unger, Antony Valentini ve Eric Weinstein'ı sayabilirim. Chris Hull, Joe Polchinski, Pierre Ramond, Jorge Russo, Moshe Rozali, John Schwarz, Andrew Strominger ve Arkady Tseytlin'de bazı olguları ve sorunları düzeltmeme yardımcı oldular.

Uzun yıllar boyunca araştırmalarım, Ulusal Bilim Kurumu tarafından desteklendi ve bunun için müteşekkirim. Ama bana, "Gerçekten ne yapmak istiyorsun? Nedir senin cesur ve çılgın fikrin?" diye soran birine rastlamış olduğum için de olağandışı şanslıydım. Bununla birlikte beklenmedik ve cömert bir şekilde Jeffrey Epstein verdiğim cevapların arkasında durabilmem için gereken şansı verdi ve bunun için de hep çok müteşekkir olacağım.

Bu kitabın konularından biri de bilimsel bir camianın izlemesi gereken değerler hakkında ve ben bunları kuantum uzayzaman konusunda önderlik etmiş Stanley Deser, David Finkelstein, James Hartle, Chris Isham ve Roger Penrose'dan öğrendiğim için şanslıyım. Bu alandaki araştırmalarımda, Abhay Ashtekar,

Julian Barbour, Louis Crane, Ted Jacobson ve Carlo Rovelli'nin yardımları olmadan ilerleyemezdim. Son zamanlarda beraber çalıştığım, Stephon Alexander, Mohammad Ansari, Olaf Dreyer, Jerzy Kowalski-Glikman, Joao Magueijo ve özel olarak Fotini Markopoulou'ya teşekkür ederim; süregiden eleştirileri ve sorularıyla dürüstlüğümü korumamı sağladılar ve kendimi fazlaca ciddiye almamı engellediler. Şunu da eklemem gerek; yaptığımız işler akademik modaya uymadan temel sorunlar üzerine çalışmayı seçen daha geniş bilimciler ve matematikçiler camiası olmadan pek anlam ifade edemezdi. Bu kitabı en başta onlara adıyorum.

Arkadaşlarımın düzenli desteği, bilim yapmamı ve bilimin geniş anlamda önemini yakalamamı sağladı ve hayatım bu destek olmadan fakirleşmiş olurdu. Bunlar arasında Saint Clair Cemin, Jaron Lanier, Donna Moylan, Elizabeth Turk ve Melani Walker'ı sayıyorum.

Her kitap belirli bir mekânın ruhuyla yazılır. İlk iki kitabım için bunlar New York ve Londra'ydı. Bu kitap Toronto'nun ruhunu taşıyor; Pico Iyer'in geleceğin şehri dediği yer. Ve bunun sebebini bildiğim için de kendimi şanslı addediyorum. 2001 yılının eylül ayında bir göçmeni ağırladıkları için en başta Dina Graser'e teşekkür etmeliyim. Ama aynı şekilde Charlie Tracy Macdougal, Olivia Mizzi, Hanna Sanchez ve Dış Liman Hareketli Salma Yelken Kulübündeki arkadaşları da saymalıyım (eğer geçen bahar beni yelken yaparken pek görmediyseniz, sebebi işte bu!).

Beni buraya davet ettikleri için, Howard Burton'a ve Mike Lazaridis'e teşekkür ederim. Perimeter Kuramsal Fizik Enstitüsünü kurmaları bilimi desteklemek adına bildiğim en öngörülü hareket oldu. Bilimin geleceğine olan inançları ve merkezin geleceğine kendilerini adamaları sayesinde bilimi ciddiye alan herkesin bulunabileceği en büyük övgüyü hak ediyorlar. Bana sağladıkları fırsatlar için onlara hem bilim adına hem de kendi adıma çok çok müteşekkirim.

Bu merkezi ve onun çevresinde toplanan camiayı kurmak için gerekli tüm zorlukları ve maceraları sırtlayanlar arasında tüm

teşekkürler, Clifford Burgess, Freddy Cachazo, Laurent Freidel, Jaume Gomis, Daniel Gottesman, Lucien Hardy, Justin Khoury, Raymond Laflamme, Fotini Markopoulou, Michael Mosca, Rob Myers, Thomas Thiemann, Antony Valentini ve saymaya yer olmayan diğerlerine gitmeli; bu girişime katkıda bulunmak için kariyerlerini riske attılar. Ve söylemek gerekmemesine rağmen belirtmek isterim ki bu kitapta yer alan fikirler tamamen benim bakış açımı yansıtmaktadır ve hiçbir resmi ya da resmi olmayan şekilde Perimeter Enstitüsünü, bu enstitünün bilimcilerini ya da kurucularını bağlamaz. Tam tersine, bu kitabı mümkün kılan, samimi bilimsel fikir ayrılıklarını destekleyen ve ateşli tartışmaların arkadaşlığın ya da karşılıklı desteğin önüne geçmemesi gerektiğini düşünenlerden oluşmuş bir camianın mensubu olmamdır. Perimeter gibi başka birçok merkez olsaydı, bu kitabı yazma gereksinimi duymazdım.

En son olarak şartsız ve süregiden sevgileri ve destekleri için ebeveynlerime ve hayatı neşeli kılan her şey için Dina'ya teşekkür ederim. O neşe ki bu kitabın tüm söylediklerini uygun perspektife oturtuyor.

GİRİŞ

Tanrı ya da tanrılar belki vardır, belki de yoktur. Yine de tanrısalı arayışımızda bir tür asalet ve gerçeği ararken gitgide derinleşmiş seviyelerde bulmuş olduğumuz her yola yansıyan insani bir yan vardır. Bazıları aşkınlığı meditasyonda veya dua etmekte, bazıları diğer insanlara faydalı olmakta, yetenekli olacak kadar şanslılarsa sanatta arar.

Hayatla ilgili en derin sorularla uğraşmanın bir yolu da bilimdir. Bundan her bilimcinin bu tür bir yaklaşıma sahip olduğu anlaşılmasın; çoğu bilimci böyle değildir. Yine de her bilimsel alanda konularının temel gerçekliğinin ne olduğunu bilmek tutkusuyla hareket edenler vardır. Bunlar eğer matematikçiyseler sayıların ne olduğunu veya matematiğin ne tür doğruları betimlediğini bilmek isterler. Eğer biyologlarsa yaşamı ve kökenini merak ederler. Bu yaklaşıma sahip fizikçilerin kaygısıysa uzay ve zaman hakkında fikir sahibi olmak ve dünyanın nasıl oluştuğunu anlamaktır. Bu temel problemlerin cevapları en zorlarıdır ve ilerleme enderce dolaysız gerçekleşir. Bu zorluklar için gereken sabra sahip bilimcilerin sayısıysa pek azdır. Çok riskli ama ödülü de çok tatmin edici bir uğraştır bu: Eğer bir araştırmacı konusunun temelleri hakkındaki bir soruya cevap bulabilirse bildiğimiz her şey değişebilir.

Gitgide genişleyen bilgi dağarcığımıza katkıda bulunmak işleri olduğundan, bilimciler günlerini anlamadıkları olgular üzerine düşünmekle geçirirler. Ve bir konunun özellikle temelleri üzerine çalışanlar diğerlerine kıyasla daha iyi bilirler ki bu temeller asla düşünüldüğü kadar sağlam değildir.

Bu kitabın konusu doğanın en derin seviyede anlaşılması üzerine süregiden bir çabanın hikâyesi, kahramanlarıysa fiziğin temel yasaları üzerine bilgimizi genişletmek için çalışan bilimcilerdir. Üzerinde duracağım zaman dilimi kabaca 1975 yılın-

dan günümüze uzanan ve bir teorik fizikçi olarak kendi kariyerimi de kapsayan süre olacak. Bu, belki de Kepler ve Galileo'nun önderliğinde dört yüzyıl önce başlayan uğraşımızın en garip ve en hüsran yaratan dönemidir.

Anlatacağım öyküyü bir trajedi olarak algılayanlar çıkacaktır çünkü açıkça söylemek ve aynı zamanda da fikrimin temelini önceden belirtmek gerekirse, başarısız olduk. Fizik, miras aldığımız bu bilim, uzun zamandır öylesine hızla gelişen bir alandı ki diğer bilim dalları için bir örnek oluşturduğu düşünülüyordu. Günümüze kadar uzanan bu iki yüz yıllık süre boyunca doğa yasaları üzerine anlayışımız hızla genişledi. Fakat günümüzde, bu yasalar hakkında kesin hükümlerimizin toplamı, en iyi çabalarımıza rağmen, 1970'lerde bildiklerimizden fazla değil.

Temel fizikte otuz yıllık bir durağanlık ne kadar şaşırtıcı olabilir? Bilimin varlıklı amatörlerin uğraşı olduğu iki yüzyıl öncesine uzansak bile bunun örneği yok. En azından geç 18. yüzyıldan beri bilimde her çeyrek asırda bir önemli sorular üzerinde ilerleme kaydedilmiştir.

Antoine Lavoisier'nin niceliksel kimya deneyleriyle maddenin korunduğunu gösterdiği 1780 yılında Isaac Newton'ın hareket ve kütleçekim yasaları neredeyse yüzüncü yılını dolduruyordu. Evet, Newton bize doğanın tümünü anlamak için gerekli çerçeveyi sunmuştu, ama sınırlar yine de zorlanmaya açıktı. İnsanlar madde, ışık ve ısı hakkında temel olguları öğrenmeye, gizemli elektrik ve manyetizma olgularını anlamaya yeni başlıyordu.

Takip eden yirmi beş yıl boyunca bütün bu alanlarda önemli buluşlar gerçekleşti. Işığın bir tür dalga olduğunu anlamaya başladık. Elektrik yüklü parçacıkların arasındaki kuvvet yasasını bulduk. Ve John Dalton'un atom kuramıyla maddeyi anlayışımızda büyük atılımlar gerçekleşti. Enerji kavramı öne sürüldü; girişim ve kırınım ışığın dalga teorisiyle anlaşılır oldu; elektriksel direnç ve elektrik ile manyetizma arasındaki ilişki araştırıldı.

1830'dan 1855'e uzanan çeyrek asırdaysa modern fiziğin temelindeki birçok kavram ortaya çıktı. Michael Faraday kuvvet-

lerin alanlarla iletildiğini öne sürdü. Bu fikri kullanarak elektrik ve manyetizma olguları üzerine anlayışımızı önemli ölçüde ilerletti. Aynı zaman zarfında, enerjinin korunumu ilkesi ve termodinamiğin ikinci yasası öne sürülmüştü.

Bunu izleyen çeyrek asırda, James Clerk Maxwell, Faraday'ın alanlar üzerine öncü fikirlerini genişleterek modern elektromanyetizma kuramını kurdu. Maxwell sadece elektrik ve manyetik olguları birleştirmekle kalmadı; ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunu da gösterdi. 1867'de atomik kuram aracılığıyla gazların davranışlarını da açıkladı. Aynı zaman zarfında, Rudolf Clausius da fiziğe entropi kavramını katmıştı.

1880'den 1905'e kadarki dönem elektronların ve X-ışınlarının keşfine sahne oldu. Isı ışınımı çalışmalarındaki gelişmeler birçok adımdan sonra 1900'de Max Planck'ın bu olguyu betimleyen ve kuantum devrimini tetikleyen o ünlü formülü bulmasına yol açtı.

1905'te Albert Einstein yirmi altı yaşındaydı. Isı ışınımı üzerine yaptığı çalışmalara –ki bunların bilime oldukça önemli katkılar getirmiş olduğu sonradan kabul edilmiştir– rağmen akademik bir iş bulamamıştı. Ama bu sadece bir ısınma turuydu. Çok geçmeden fiziğin temel sorunları üzerine düşünmeye başladı: Öncelikle, hareketin göreliliği Maxwell'in elektromanyetizma yasalarıyla nasıl bağdaştırılabilirdi? Özel görelilik kuramıyla bunun nasıl yapılacağını bize gösterdi. Kimyasal öğeleri Newtoncı anlamda atomlar olarak görmeli miydik? Einstein buna mecbur olduğumuzu ispatladı. Işık kuramlarını atomların varlığıyla nasıl bağdaştırabilirdik? Einstein yordamını söyledi ve bu süreçte ışığın hem dalga hem de parçacık olduğunu gösterdi. Üstelik bütün bunları 1905 yılında bir büroda patent başvurularını değerlendirirken işten çaldığı zamanla yaptı.

Einstein'ın bu konulardaki görüşlerinin yerini bulması bir çeyrek asır aldı. 1930'a gelindiğinde uzayın geometrisinin sabit olmayıp zamanla değiştiği devrimci fikri ve bunun sonucu genel görelilik kuramı fiziğe eklenmişti. Einstein'ın 1905'te önerdiği dalga-parçacık ikiliği bütünsel bir kuantum kuramına varmamızı sağladı. Bu kuram atomların, kimyanın, maddenin

ve ışınımın kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına yol açtı. 1930 yılında evrenin kendimizinkine benzer çok ama pek çok sayıda galaksiyle dolu olduğunu ve bunların bizden uzaklaştıklarını da biliyorduk. Ne anlama geldiği o zaman çok açık olmasa da genişleyen bir evrende yaşadığımızı biliyorduk.

20. yüzyıl fiziğindeki devrimin ilk aşaması kuantum ve genel görelilik kuramlarının olgunluğa ulaşmasıyla sona ermiş oldu. Uzmanlık alanlarındaki devrimlerden rahatsız birçok fizikçi rahat bir nefes aldı çünkü artık temel kabulleri her adımda sorgulama zorunluluğu duymadan, bilinen yöntemlerle işlerine devam edebileceklerini düşünüyorlardı. Ferahlamaları vakitsizdi.

Einstein izleyen çeyrek asrın sonunda 1955'te öldüğünde, Freeman Dyson ve Richard Feynman'ın da dahil olduğu neslin büyük başarıları sayesinde özel görelilik ve kuantum kuramlarını tutarlı bir şekilde birleştirmenin yolunu öğrenmiştik. Nötronun ve nötrinonun yanında yapıtaşı oldukları düşünülen yüzlerce parçacığı keşfetmiştik. Doğada gözlemlediğimiz sayısız olgunun elektromanyetizma, kütleçekim, atom çekirdeğini bir arada tutan yeğin çekirdek kuvveti ve radyoaktif bozunumdan sorumlu zayıf çekirdek kuvveti olarak isimlendirdiğimiz dört kuvvetin etkisinde gerçekleştiğini de anlamıştık.

Bir çeyrek asır daha sonra 1980 yılına geliyoruz. O tarihte temel parçacıklar ve kuvvetler üzerine bütün deneysel sonuçları açıklayabilen ve temel parçacık fiziğinin standart modeli olarak adlandırdığımız kuram formüle edilmişti. Örneğin standart model bize, yeğin çekirdek kuvvetini yayan gluonlar* aracılığıyla birbirlerine tutunan kuarkların, protonları ve nötronları nasıl meydana getirdiklerini gösterdi. Temel fizik tarihinde ilk defa kuram deneysel sonuçları yakalamıştı. O zamandan beri standart model ya da genel görelilik kuramıyla uyuşmayan bir deneyi kimse gerçekleştiremedi.

Çok küçükten çok büyüğe geçersek; fizik bilgimiz artık genel kabul görmüş Büyük Patlama kuramı üzerinden kozmoloji dedi-

* Türkçede yapıştırıcı anlamına gelen İngilizce "glue" kelimesinden türetilmiştir. Yeğin kuvvetin kuarkları güçlü bir şekilde tutmasına atfen verilmiştir –çn.

ğimiz yeni bilimi de kapsıyordu. Çevremizde sadece yıldızların ve gökadalarının değil nötron yıldızları, kuasarlar, süpernovalar ve kara delikler gibi alışılmadık nesnelerin de var olduğunu fark etmiştik. Daha 1980'e varmadan Stephen Hawking kara deliklerin ışınım yaydıkları gibi şaşırtıcı bir öngörüde bulunmuştu. Astronomların elindeyse, evrende ışıkla hiç etkileşmeyen ve bugün kara madde olarak adlandırdığımız bir nesnenin bulunduğu üzerine deliller vardı.

1981 yılında kozmolog Alan Guth, evrenin erken dönemi hakkında şişme [enflasyon]* adını verdiğimiz bir senaryo önerdi. Kabaca söylersek, bu modele göre, genç evren çok hızlı ve aşırı bir şekilde genişlemişti ve günümüzde her yönde hemen hemen aynı gözükmesi buna bağlanıyordu. Şişme fikri en başta kuşkulu gözüken öngörülerde de bulunmuştu ama on yıl önce deneysel bulgular onun lehine dönmeye başladı. Bu kitabın yazıldığı zamanda hâlâ birkaç bilmece çözüm bekliyor ama delillerin çoğu şişme kuramının öngörülerini destekliyor.

Dolayısıyla 1981 yılına kadar, fizikte iki asır süren oldukça hızlı bir gelişmeden bahsedebiliyoruz. Arka arkaya gelen keşifler doğa hakkındaki anlayışımızı derinleştirmişti, çünkü her yeni bulgunun açıklanmasında deney ve kuram el ele yürümüştü. Yeni fikirler sınanıp doğrulanıyor ve yeni deneysel bulgular kuramsal temellere oturtuluyordu. Ama sonra, 1980'lerin başlarında, işler durma noktasına geldi.

Ben parçacık fiziğinin standart modeli oluşturulduktan sonra eğitimini tamamlamış ilk nesil fizikçilerden biriyim. Lisans ve lisansüstü eğitimimden tanıdığım eski arkadaşlarla bir araya geldiğimde birbirimize bazen "Neslimizin gurur duyacağı ne keşfettik?" diye sorarız. Eğer şu ana kadar bahsini ettiğim, deneyle kabul görmüş ve kuramla açıklanmış yeni ve temel buluşları kastediyorsak, itiraf etmemiz gerekir ki, cevabımız şudur: "Hiçbir şey!" Mark Wise standart model ötesi fizik üzerine çalışan kuramcıların önde gelenlerindendir. Benim de mensubu

* Burada enflasyon "hızlı şişme" anlamındadır. Genel olarak şişme üstel olarak hızlı bulunur –çn.

olduğum, Waterloo, Ontario'da bulunan Perimeter Teorik Fizik Enstitüsünde temel parçacıkların kütlesinin kökeni üzerine yaptığı bir konuşmada "Bu problemi çözmekte dikkate değer şekilde başarısız olduk" demişti. "Eğer fermiyon kütle problemi hakkında bir seminer verecek olsaydım, sanırım 1980'lerde söyleyeceklerimi tekrar ederdim."[1] Bunun arkasından, ileri gelen bir başka kuramcı olan John Preskill'le beraber 1983'te Caltech* kadrosuna katılmalarıyla ilgili bir anısını aktarmıştı. "Ofisinde John Preskill'le oturmuş konuşuyorduk. Bilirsiniz, fiziğin tanrıları Caltech'teydi ve şimdi de biz! John 'Üzerinde çalışılması gereken önemli konuları unutmayacağım' dedi. Sarı bir kağıt parçasına lepton ve kuark kütleleri hakkında bildiklerimizi yazdı ve üzerlerinde çalışmayı unutmamak için kağıdı tahtasına iliştirdi. On beş yıl sonra tekrar onun ofisindeyim ve bir şeylerden konuşuyoruz; tahtasına bakıyorum ve görüyorum ki o kağıt parçası hâlâ orada duruyor ama güneş üzerine yazılı her şeyi ağartmış. Sorunlar yok olmuş!"

Dürüst olmak gerekirse geçtiğimiz birkaç on yılda iki deneysel keşif yapıldı: nötrinoların kütleli olduğu ve evrenin genişlemesini hızlandırıyor gözüken ve içeriğinin çoğunu oluşturan gizemli kara enerji bulundu. Ama yine de nötrinoların ve diğer bütün parçacıkların neden kütleli olduğu ya da kütle değerlerini neyin açıkladığı hakkında hiçbir fikrimiz yok. Kara enerjiye gelince, hiçbir kuram tarafından tam olarak açıklanamıyor. Bu yüzden, yani anlayışımızda önemli bir eksiklik olduğundan, bir başarı sayılamaz. Dahası, kara enerjiyi bir kenara bırakırsak, yeni bir parçacık, yeni bir kuvvet ya da yirmi beş yıl önce bilmeyip anlamadığımız yeni bir fenomen bulunamadı.

Yanlış anlaşılmak istemem. Son yirmi beş yıl boyunca kesinlikle çok meşguldük. Temel kuramların birçok konuya uygulanması bağlamında çok önemli gelişmeler oldu. Malzemelerin özellikleri, moleküler fiziğin biyolojinin temelleri üzerindeki et-

---

[1] Mark Wise, "Modifications to the Properties of the Higgs Boson", Seminer konuşması, 23 Mart 2006. Ağ sayfası http://streamer.perimeterinstitute.ca:81/mediasite/.

* California Institute of Technology –çn.

kisi, engin yıldız kümelerinin dinamiği üzerine yapılan bulgular örnek olarak sayılabilir. Ama doğanın temel yasaları üzerine gözle görülür yol katedemedik. Birçok harika fikir araştırıldı, önemli hızlandırıcı deneyleri ve kozmolojik gözlemler yapıldı ama bunlar temelde var olan kuramları doğrulamaktan öteye gidemedi. Bazı atılımlar oldu ama bunların hiçbiri geçmiş iki asrın buluşları kadar kesin ve önemli olamadı. Spor ya da iş dünyasında böyle bir duruma, duvara toslamak denir.

Neden birdenbire fiziğin başı derde girdi? Ve bu konuda neler yapabiliriz? Bunlar kitabımı üzerlerine kurduğum temel sorularıdır.

İyimser mizaçlı biriyim, fizikte, kendi kariyerimi de kapsayan bu dönemin olağandışı bir şekilde verimsiz olduğu hükmüne uzun zaman karşı durdum. Yine de başlarda süratle gelişmekte olan bir alana önemli katkılar sağlamak için bilime yönelmiş arkadaşlarım ve ben şok edici bir gerçekle yüz yüzeyiz: Önceki birçok neslin aksine bizden sonra kalıcı olacak başarılara imza atamadık. Bu durum kişisel krizlere yol açtı. Ama daha önemlisi, fizikte de bir kriz oluşturdu.

Geçen otuz yıl boyunca kuramsal parçacık fiziğinin asıl çabası standart modelin daha derinlemesine açıklanmasıydı. Çok aktif bir dönem oldu. Yeni kuramlar öne sürüldü ve bazıları oldukça detaylı bir şekilde araştırıldı ama hiçbiri deneysel onaydan geçemedi. İşin özü şurada: Bilimde, bir kuramın kabul görmesi için, yepyeni bir öngörüde bulunarak, daha önceki kuramlardan farklı olarak, henüz düşünülmemiş bir deneye işaret etmesi gerekir. Deneyin anlamlı olabilmesi için, yapılan öngörüyle çelişme olasılığı olmalıdır. Bunlara uyuyorsa kuram *yanlışlanabilirdir*; yanlış olduğunun ispatına açıktır. Kuram aynı zamanda *doğrulanabilir* de olmalıdır; sadece bu kuramın öngördüğü olguları doğrulamak mümkün olmalıdır. Bir kuram ancak böyle deneysel sınamalardan geçtikten sonradır ki onu gerçek kuramlar seviyesine çıkarırız.

Şu anda parçacık fiziğinin içinde olduğu kriz son otuz yılda standart modelin dışına çıkan kuramların iki gruba ayrılmasına bağlanabilir. Bazıları yanlışlanabilir kuramlardı ve yanlış-

landılar. Gerisi hâlâ sınanamadı, çünkü ya temiz öngörülerde bulunmuyorlar ya da öngörüleri günümüz teknolojisiyle sınanamıyor.

Geçen otuz yılda, kuramcılar en azından bir düzine yeni yaklaşım önerdiler. Her biri ikna edici varsayımlara dayanıyor, ama şu ana kadar hiçbiri başarılı olamadı. Parçacık fiziği dünyasında bunlar arasında Technicolor'u, preon* modellerini ve süpersimetriyi; uzayzaman konusunda da, twistor kuramı, nedensel kümeler, süperkütleçekim, dinamik üçgenlemeler ve ilmek kuantum kütleçekim yaklaşımlarını sayabiliriz. Bu fikirlerden bazıları isimleri kadar tuhaftır.

Diğerlerinin toplamından daha ilgi çekmiş bir kuram daha var: Sicim kuramı [*string theory*]. Bu kadar gözde olmasının sebeplerini anlamak zor değil. Hem küçüğün hem de büyüğün fiziğini doğru olarak betimlediğini iddia ediyor –hem kütleçekimi hem de temel parçacıkları– ve bunu da diğer bütün kuramlarınkilerden çok daha gözü pek bir varsayım üzerine temellendiriyor: Uzayın daha görülmemiş boyutları olduğunu ve bildiğimizden çok daha fazla parçacık tipinin varlığını öne sürüyor. Aynı zamanda, bütün temel parçacıkların, basit ve güzel yasalara uyan tek bir varlığın, sicimin, değişik titreşimleri olduğunu öneriyor. Kendini *bütün* parçacıkları ve *bütün* kuvvetleri birleştiren bir kuram olarak ortaya koyuyor. Hal böyle olunca, yapılmış ya da yapılacak bütün deneyler için temiz ve net öngörülerde bulunacağı sözünü vermiş oluyor. Son yirmi yılda sicim kuramı üzerine çok emek harcandı ama yine de doğru olup olmadığını bilmiyoruz. Bütün bu çalışmalara rağmen kuramdan günümüz deneyleriyle –ya da en azından günümüzde tasavvur edilebilecek deneylerle– sınanabilir önermeler çıkarılamadı. Sicim kuramındaki birkaç temiz öngörüyüyse daha önce kabul görmüş diğer kuramlar zaten içeriyordu.

Sicim kuramının yeni öngörülerde bulunmamasının kısmi sebebi neredeyse sonsuz sayıda değişik çeşidi olmasıdır.

* Öncül parçacık anlamında. Bilinen temel parçacıkları da oluşturduğu varsayılmış yapıtaşı parçacıklar - çn.

Evrenin devasa boyutları ve genişlemesinin ivmelenmesi gibi gözlemsel olgularla uyumlu olanlara kısıtlansak bile elimizde 10^{500} (birin yanında beş yüz tane sıfır, bilinen evrendeki bütün atomların sayısından fazla) kuram kalıyor. Elimizde bu kadar fazla kuram çeşidi olunca da bunların içinden en azından birinin içermeyeceği bir deneysel sonuç düşünmek zorlaşıyor. Dolayısıyla deneyler ne derse desin sicim kuramını yanlışlamak imkânsız gibi gözüküyor. Ama bunun tersi de doğru: Kuramı hiçbir deney hiçbir zaman doğrulayamayacak.

Aynı zamanda, bu sicim teorileri hakkında anladığımız çok az şey var. Üstelik detaylarıyla anladığımız az sayıdaki sicim kuramlarının her biri şu andaki deneysel verilerle, genelde en az iki şekilde, uyumsuz.

Yani bir çatışmayla karşı karşıyayız. Üzerinde çalışmalar yapabildiğimiz sicim kuramlarının yanlış olduğunu biliyoruz. Üzerinde çalışamadıklarımızın sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülüyor ki hepsiyle ters düşebilecek bir deney tasarlamak mümkün değil gibi gözüküyor.

Sorunlar bunlarla sınırlı değil. Sicim kuramı, haklarında bazı deliller bulunuyor olsa da şu anda ispatlanmamış birçok varsayımın üzerine kurulmuş durumda. Daha da kötüsü, bu alana adanmış onca bilimsel emeğe rağmen, elimizde hâlâ "sicim kuramı" olarak adlandırabileceğimiz tutarlı bir bütünsel kuram yok. Aslında elimizde olan, bir kuramdan ziyade, eğer doğruysalar bir kuramın varlığına işaret edebilecek yaklaşık hesaplar ve girift bir varsayımlar ağından ibaret. Bu kuramın temel prensiplerini bilmiyoruz. Ne tür bir matematiksel dille ifade bulacağını bilmiyoruz; belki yenisini icat etmek gerekecek. Temel ilkelerin ve matematiksel bir formülasyonun yokluğunda sicim kuramının neyi ileri sürdüğünü bildiğimizi söyleyemeyiz.

Sicim kuramcısı Brian Greene son kitabı *Evrenin Dokusu*'nda şöyle belirtiyor: "Birçok sicim kuramcısı, bugün, yani ilk öne sürülmesinden otuz yıl sonra, 'Sicim kuramı nedir?' gibi basit bir soruya anlaşılır bir cevabımız olmadığına inanıyor. Birçok araştırmacı, bilimdeki diğer önemli ilerlemelerin hepsinin kal-

binde olan bir tür çekirdek kavramın sicim kuramında eksik olduğunu hissediyor."[2]

Temel parçacıklar fiziği üzerine yaptığı çalışmalarla Nobel Ödülü kazanmış Gerard 't Hoof, sicim kuramının halini şöyle nitelendiriyor: "Aslında sicim kuramını bir 'kuram' yerine bir 'model' hatta bir 'sezgi' olarak adlandırmaya eğilimliyim. Nihayetinde, bir kuram istediğimiz nesneleri, ki bu durumda temel parçacıkları, betimlemek için onu nasıl kullanmamız gerektiği hakkında talimatları içermelidir ve en azından kavramsal olarak bu parçacıkların özelliklerini hesaplamak için kuralları ve bunlardan öngörüler yaratmayı becerebiliyor olmalıyız. Size bir sandalye verdiğimi ama bacaklarının daha eksik olduğunu ve oturağının, arkasının ve koltuklarının yakında teslim edileceğini söylediğimi düşleyin. Size ne vermiş olursam olayım ona hâlâ bir sandalye diyebilir miyim?"[3]

Standart model üzerine çalışmalarıyla Nobel Ödülüne layık görülmüş David Gross, en başından beri sicim kuramının en ateşli ve kudretli destekçilerinden biri oldu. Yine de yakınlarda sicim kuramının ilerleyişini kutlamak için düzenlenmiş bir konferansın kapanış konuşmasını şunları söyleyerek bitirdi: "Neden bahsettiğimizi bilmiyoruz... Fiziğin şu andaki durumu radyoaktif olgularla hayrete düştüğümüz zamanları hatırlatıyor... Onlar tam anlamıyla temel bir kavramı kaçırıyorlardı. Belki biz de o seviyede derin bir şeyi gözden kaçırıyoruz."[4]

---

2 Brian Greene, "The Fabric of the Cosmos: Space, Time and the Texture of Reality", (New York: Alfred A. Knopf, 2005), s. 376. [*Evrenin Dokusu*, çev: Murat Alev, TÜBİTAK Yay., 2011]

3 Gerard 't Hooft, "In Search of the Ultimate Building Blocks", (Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1996), s. 173. [Maddenin Son Yapıtaşları, çev: Mehmet Koca-Nazife Özdeş Koca, TÜBİTAK, 2002]

4 *New Scientist* dergisinden alıntılanmıştır. Haber başlığı: "Nobel ödüllü bilim insanı sicim kuramının başının belada olduğunu kabul ediyor" 10 Aralık 2005. Bu tartışmalara yol açtı ve Gross saptamalarını Kudüs 23. Kuramsal Fizik Kış Okulunun açılışında açıklığa kavuşturdu (metnin tamamına http://www.as.huji.ac.il/schools/phys23/media.html ağ adresinden erişilebilir):
Aslında söylemek istediğim şey sicim kuramının ne olduğunu bilmiyoruz; nihai ya da hâlâ bazı eksiklikleri olan bir kuram olup olmadığından emin değiliz. Özellikle uzayın ve zamanın doğası hakkında bazı derin

Ancak, sicim kuramının çok eksik ve bu yüzden varlığının dahi ispatlanmamış bir varsayımdan ibaret olması, birçok bilimcinin kuramsal fizikte ilerlemenin yegâne yolunun o olduğuna inanmalarına engel teşkil etmiyor. Kısa zaman önce sicim kuramının önde gelen araştırmacılarından, California Üniversitesi Santa Barbara'daki Kavli Enstitüsü üyesi, Joseph Polchinski'ye "Sicim Kuramına Alternatifler" konulu bir konuşma yapması rica edilmişti. İlk tepkisi şöyle olmuştu, "Bu ahmakça, alternatif falan yok... Bütün iyi fikirler sicim kuramının bir parçasıdır."[5] Harvard Üniversitesinde yardımcı doçent olan Lubos Motl yakın zamanlarda bloğunda şöyle bir iddiada bulunmuştu: "...kimsenin çıkıp da kimseyi sicim kuramına alternatif olabilecek bir yaklaşımın varlığına inandıramamasının en olası sebebi böyle bir alternatifin olmamasıdır."[6]

Neler oluyor burada? Bilimsel dilde, bir kuramdan bahsedildiğinde söz konusu olan son derece belirli bir yapıdır. Hatırı sayılır bir parçacık fizikçisi ve Motl'un Harvard'da iş arkadaşı olan Lisa Randall bir kuramın ne olduğunu şöyle açıklıyor: "doğa hakkında temel bazı kabullerin üzerine kurulu belirli bir fiziksel –ve çeşitli olguları basitçe açıklaması açısından da ekonomik– çerçeve. Bir kuram bize deneysel sonuçlarla başarılı bir uyumdan doğan kesin denklemler ve öngörüler bahşeder."[7]

Sicim kuramı bu tanıma uymuyor, en azından şimdilik. Buna rağmen bazı uzmanlar kesin olarak ne olduğunu bilmedikleri sicim kuramının bir alternatifi olmadığı hakkında nasıl emin olabiliyorlar? Bir alternatifi olmadığını düşündükleri şey nedir? Bunlar gibi birçok soru bu kitabı yazmamdaki etken sebep oldu.

---

kavramsal değişikliklere ihtiyacımız var gibi duruyor. Bu kesinlikle sicim kuramıyla uğraşmayı bırakmamız gerektiği –başarısız olduğu, işinin bittiği– anlamına gelmez. Aslında harika bir dönemdeyiz.

5 J. Polchinski, 26. SLAC Parçacık Fiziği Yaz Okulunda verdiği konuşmadan, 1998, hep-th/9812104.

6 http://motls.blogspot.com/2005/09/why-no-new-einstein-ii.html.

7 Lisa Randall, "Designing Words," Intelligent Thougt: Science Versus the Intelligent Design Movement, Ed. John Brockman, (New York: Vintage, 2006)

Kuramsal fizik zordur. Çok zor. Belirli düzeyde matematik içermesinden ziyade büyük riskler içerdiği için. Çağdaş fiziğin tarihini incelerken defalarca göreceğimiz gibi bu tür bilim risk almadan yapılamaz. Eğer çok sayıda araştırmacı bir soru üzerinde yıllarca çalıştıktan sonra hâlâ bir cevaba ulaşamamışsa, bu durum cevabın kolay ya da aşikâr olmadığı anlamına gelebilir. Ya da soru cevapsız bir sorudur.

Sicim kuramı, anlaşıldığı kadarıyla, doğanın, temelde, bildiğimizden çok farklı olduğunu öne sürer. Eğer kuram doğruysa doğada şu ana kadar gözlemlediğimizden daha fazla uzay boyutu ve çok daha fazla parçacık türü olmalıdır. Birçok sicim kuramcısı bu fazladan boyutlar ve parçacıklar hakkında sanki varlıkları güvence altındaymış ve iyi bir bilimci bundan şüphe duyamazmış gibi bahseder. Bir sicim kuramcısı bana birkaç defa şöyle söylemişti "Ama, fazladan boyutların gerçek olmayabileceğini düşündüğünüzü mü ima ediyorsunuz?" Aslında elimizde fazladan boyutların varlığı hakkında ne kuramsal ne de deneysel bir delil var. Bu kitabın amaçlarından biri sicim kuramının iddialarının etrafındaki sis perdesini kaldırmaktır. Güzel ve saikleri iyi fikirlerdir bunlar. Ama neden önemli bir ilerlemeye yol açmadıklarını anlamak için kanıtların neleri desteklediği ve nelerin hâlâ eksik olduğu hakkında açık olmamız gerekir.

Sicim kuramı yüksek risk taşıyan bir iş olduğundan –deneylerle desteklenmez, ama akademik ve bilimsel toplulukların geniş desteğine sahiptir– bu hikâye ancak iki şekilde sona erebilir. Eğer sicim kuramı doğru çıkarsa, sicim kuramcıları bilim tarihinin en büyük kahramanları olacaklar. Bir avuç ipucundan –ki bunların hiçbiri hakkında kesin bir anlayış yoktur– gerçeğin daha önce hayal edilenden çok daha geniş olduğunu bulmuş olacaklar. Kolomb İspanya kralının ve kraliçesinin bilmediği yeni bir kıta keşfetti. Yeni Dünyanın yerlileri de İspanyol asilzadelerinden habersizdi. Galileo yeni yıldızlar ve aylar keşfetti, ardından astronomlar yeni gezegenler keşfettiler. Bütün bunlar yeni boyutların keşfinin yanında sönük kalacaktır. Dahası, birçok sicim kuramcısı devasa sayıdaki sicim kuramının tanımladığı engin dünyaların bizim dolaysız olarak göremeyeceğimiz

diğer evrenler olarak vücut bulduğuna inanır. Eğer haklıysalar gerçeğin gördüğümüz kısmı mağara adamlarının yaşadıkları dünya hakkında bildiklerinden çok daha az olmalıdır: İnsanlık tarihinde hiç kimse bilinen dünyayı bu kadar genişletecek bu kadar doğru tahminde bulunmamış olacaktır.

Öte yandan sicim kuramcıları yanlışlık içindeyseler, bu kısmi olamaz. Eğer bu yeni boyutlar ve simetriler gerçek değilse sicim kuramcılarını, tıpkı Kepler ve Galileo ileriye doğru atıldıklarında hâlâ Ptolemaios yörüngeleriyle uğraşanlar misali, bilimin en büyük başarısızlarından sayacağız. Onlarınki, bilim yapmak ne değildir üzerine, kuramsal varsayımların mantıklı bir şekilde savlanabilen sınırların ötesine genişletilmemesi gerektiği, yoksa bunun hayallere kapılmayla sonuçlanacağı üzerine ibret verici bir hikâye olacak.

Sicim kuramının yükselişinin bir sonucu da temel fizik üzerine çalışanların ayrışmış olmasıdır. Birçok bilimci sicim kuramı üzerine çalışmaya devam ediyor ve bu alanda yılda belki de elli kadar doktora tezi kabul ediliyor. Ama derin kuşkular içerisinde olanlar da var; ya kuramın temel kavramına hiç rağbet etmeyenler ya da kuramın tutarlı bir yapıya oturtulmasını ve deneysel öngörülerde bulunmasını beklemekten bıkmış olanlar. Bu ayrışma her zaman arkadaşça değildir. Taraflar birbirlerinin bilimsel yeterliliği ve ahlaki standartları üzerine sürekli kuşkular dile getiriyor ve bu ayrışmanın içinde arkadaşlıkları sadece gerçek bilimsel çalışma koruyabiliyor.

Okulda öğrendiğimiz bilim fikrine göre böyle durumların gerçekleşmemesi gerekir. Bize öğretilen, modern bilimin doğa anlayışımızın ilerlemesine katkıda bulunmasını sağlayan bir yönteme sahip olduğudur. Anlaşmazlıklar ve çatışmalar bilimin ilerlemesi için gereklidir, ama bunların her zaman deney ya da matematikle aşılabileceği kabul edilir. Sicim kuramı söz konusu olunca bu mekanizma bozulmuş gibi gözüküyor. Sicim kuramının birçok taraftarı ve karşıtı kendi fikirlerine o kadar müzmin bir şekilde bağlılar ki, arkadaşlar arasında bile konu üzerine candan bir tartışma yapmak zor oluyor. Sicim kuramcıları "Kuramın güzelliğini nasıl görmezsin? Bir kuram bütün bunları

içerip yanlış olabilir mi?" diyor. Bu da kuşkucuların aynı derecede ateşli bir yanıtına yol açıyor: "Aklını mı kaçırdın? Deneysel testlerin yokluğunda *herhangi* bir kurama nasıl bu kadar inanç besleyebilirsin? Bilimin nasıl işlemesi gerektiğini unuttun mu? Kuramın ne olduğunu bile bilmediğin halde haklı olduğundan nasıl bu kadar emin olabilirsin?"

Bu kitabı uzmanlar ve aynı zamanda amatörler arasında dürüst ve faydalı bir tartışmaya katkı sağlayabileceği ümidiyle kaleme aldım. Geçen birkaç yılda gördüklerime rağmen, bilime inanıyorum. Bilimsel camianın mantıklı usa vurmalarla bu hırçınlıkları aşıp önümüzdeki deneysel veriler üzerinden bu çatışmayı sonlandırabileceğine inanıyorum. Sırf bu meseleleri öne sürerek sicim kuramı üzerine çalışan meslektaşlarımdan ve arkadaşlarımdan bazılarını kızdıracağımın bilincindeyim. Tek söyleyebileceğim, bu kitabın sicim kuramına ya da ona inananlara bir saldırı amacı gütmediği, tam tersine onlara olan takdirimin ve her şeyden öte, fizik bilimi camiasına olan inancımın bir ifadesi olduğudur.

Kısacası bu bir "bize" karşı "onlar" kitabı değil. Kariyerim boyunca, hem sicim kuramı hem de kuantum kütleçekim –Einstein'ın genel görelilik kuramı ile kuantum kuramının birleştirilmesi– hakkında diğer yaklaşımlar üzerine çalıştım. Çabalarım genelde bu diğer yaklaşımlar üzerine olmuş olsa da, sicim kuramına hevesle inandığım ve önemli problemlerini çözmeye çalıştığım zamanlar oldu. Bu problemleri çözemememe rağmen konu üzerine on sekiz makale yazdım; yani bahsedeceğim yanlışlar herkesin olduğu kadar benim de yanlışlarımdır. Hiç ispatlanmamış olmalarına rağmen geniş kitlelerce doğru olduğuna inanılan savlardan bahsedeceğim. Ama bu inananlar arasında ben de vardım ve araştırmalarımı yönlendirirken seçimlerimi bu inançlara dayandırdım. İyi bir kariyer sahibi olmak isteyen genç bilimcilerin üzerindeki, ana akım tarafından tasdik edilmiş alanlarda çalışma baskısından bahsedeceğim. Bu baskıları ben de hissettim ve zaman zaman kariyerim hakkındaki kararlarımı yönlendirmelerine izin verdim. Bağımsız bilimsel çalışma ihtiyacı ve bunu yaparken ana akımdan yabancılaşmayacak

şekilde davranmaya çabalamanın çelişkisini ben de deneyimledim. Bu kitabı benden farklı kararlar almış bilimcileri tenkit etmek için değil, neden bilimcilerin böyle kararlarla karşı karşıya kalmak zorunda olduklarını incelemek için yazdım.

Aslında, bu kitabı yazmaya karar vermem uzun zaman aldı. Şahsen zıtlaşmadan ve hasımca davranışlardan hoşlanmam. Nihayetinde bizim uğraştığımız bilimde yapılmaya değer her şey risk taşır ve tek önemli olan öğrencilerimizin öğrencilerinin elli yıl sonra kendi öğrencilerine neleri öğretmeye değer bulacağıdır. Sicim kuramı araştırmalarının merkezinde olan birinin neyin başarılıp neyin başarılamadığının kapsamlı bir eleştirisini yazmasını ümit edip durdum. Bu gerçekleşmedi.

Bu sorunları kamuoyuyla paylaşmamın sebeplerinden biri birkaç yıl önce bilimciler ve "toplumsal inşacılar" –bir grup beşeri ve sosyal bilimler profesörü– arasında bilimin nasıl çalıştığı üzerine bir tartışmaya dayanıyor. Toplumsal inşacılar bilimsel camianın diğer herhangi bir insan topluluğundan daha mantıklı ve daha nesnel olmadığını iddia ediyorlardı. Birçok bilimci bilim hakkında böyle düşünmez. Öğrencilerimize bir kurama olan inancın her zaman deneysel delillere dayandırılması gerektiğini söyleriz. Buna karşılık tartışmadaki rakiplerimiz bilimin nasıl işlediği hakkındaki iddialarımızın insanlara gözdağı vererek güç elde etmek için yapılan bir propaganda olduğunu ve bilimsel girişimlerin toplumun diğer kesimlerinin uğraştığı işlerle aynı sosyal ve politik kurallara uyduğunu öne sürdüler.

Biz bilimcilerin kullandığı önemli bir karşı sav kendi camiamızın yönetim kurallarının sahip olduğu yüksek standartların bir farklılık yarattığı oldu. Bu standartlar, yayımlanmış hesaplar ve deneysel veriler kesinliğini ispatlayana kadar hiçbir kuramı kabul etmememiz gerektiğini şüpheye yer vermeyecek şekilde belirtiyordu. İlerde daha detaylı ele alacağım üzere sicim kuramında bu her zaman böyle değildir. Sicim kuramı taraftarlarının deneysel desteğin ve açık bir formülasyonun eksikliğine rağmen kurama duydukları kesin inanç mantıktan ziyade duyguların öne çıkmış olduğunu düşündürüyor.

Sicim kuramının saldırganca teşvik edilmesi onun fizikteki önemli soruların çalışılmasında birincil yola dönüşmesini sağlamıştır. Princeton'da bulunan İleri Araştırmalar Merkezindeki hemen her parçacık kuramcısı, yönetici dahil olmak üzere, sicim kuramcısıdır; tek istisna on yıllar önce işe alınmış birisidir. Aynı durum Kavli Kuramsal Fizik Enstitüsü için de geçerlidir. Başladığı 1981 yılından itibaren verilen dokuz MacArthur bursundan sekizi sicim kuramcılarına layık görülmüştür. Ve ülkenin en ileri fizik bölümlerinde (Berkeley, Caltech, Harvard, MIT, Princeton ve Stanford) daimi işi olan ve doktoralarını 1981 yılından sonra almış yirmi iki profesörün yirmisi mesleki başarılarını ya sicim kuramında ya da bağlantılı alanlarda kazanmıştır.

Şu anda sicim kuramı akademik dünyada öyle baskın bir konuma sahip ki genç kuramsal fizikçilerin bu alana katılmamaları pratik olarak bir kariyer intiharı demektir. Sicim kuramının öngörülerde bulunmadığı kozmoloji ya da parçacık fenomenolojisi gibi alanlarda bile araştırmacıların makalelerine ya da konuşmalarına çalışmalarının ilerde sicim kuramından çıkarılabileceğine duydukları inancı belirterek başlamaları sıradan hale geldi.

Sicim kuramını doğa hakkında bir varsayım olarak ele almamız için birçok iyi sebep var, ama bu kuramın doğruluğunu iddia etmemizi haklı çıkaramaz. Sicim kuramı üzerine yıllar boyu mesleki yatırımda bulundum çünkü problemlerini çözmeye kalkacak kadar ona inanıyordum. Üzerine fikir beyan etmem için, her meslek erbablığında olduğu gibi, kuramı detaylı bir şekilde incelemem gerektiğine de inanıyordum. Aynı zamanda temel sorulara yanıt içerdiğine inanılan diğer yaklaşımlar üzerine de çalıştım. Bunun sonucunda tartışmanın her iki tarafındakiler de bana şüpheyle bakmaya başladılar. Bazı sicim kuramcıları beni "anti-sicim"ci olarak algılıyorlar. Bundan daha yanlış bir kanı olamaz. Eğer gerçeğin bir parçası olduğuna biraz olsun inanmış olmasam ve ona hayranlık duymasam sicim kuramına ne bu kadar emek ve zaman yatırımı yapar ne de problemlerini irdelemek için üç kitap yazardım. Öte yandan ne bilim dışında herhangi bir şeyin *yanında* ne de bilimi tehdit edenler dışında herhangi bir şeyin *karşısında* duruyorum.

Ama sorun sadece meslektaşlar arasındaki arkadaşlık bağlarının tehdit altında olması değil. Biz fizikçiler işimizi yapmak için hatırı sayılır kaynaklara ihtiyaç duyarız. Bunların büyük kısmı vatandaşlar tarafından, gerek vergi gerekse vakıf varlıkları aracılığıyla karşılanır. Bunun karşılığında bizden tek istenen, yaşadığımız dünya hakkında insanlığın bilgi dağarcığını genişletmek için çalışırken yaptıklarımızı arada sırada gözden geçirmemizdir. Kamuoyu, yazın, konuşmalar, televizyon ya da internet aracılığıyla iletişim içinde olan fizikçiler hikâyeyi doğru anlatmakla yükümlüdür. Başarıların yanında başarısızlıkları da açıklayacak kadar dürüst olmalıyız. Gerçekten de başarısızlıklar hakkında açık olmanın amacımıza zarar vermekten ziyade ona yardımcı olma ihtimali vardır. Ne de olsa bizi destekleyen insanlar gerçek dünyada yaşıyorlar. Her işin belli riskler taşıdığını ve yeri geldiği zaman başarısızlığın kaçınılmaz olacağını bilirler.

Yakın geçmişte, halka yönelik birçok kitap ve dergi makalesinde kuramsal fizikçilerin üzerinde çalıştıkları hayret uyandıran fikirler hakkında yorumlar ve açıklamalar yapıldı. Bu yazarlardan bazıları yeni fikirlerin deneysel kanıt ve matematiksel ispat açısından ne durumda olduklarını açıklamak konusunda özensizce davrandılar. Toplumun evrenin nasıl çalıştığına dair merakından belli bir kazanç sağladığım için bu kitapta anlatacağım hikâyenin gerçeklere dayanması hususunda sorumlu davranacağım. Çözemediğimiz birçok problemi ortaya koyup, deneylerin neleri destekleyip neleri desteklemediğini açıklayıp, gerçekleri spekülasyonlardan ve zihinsel kaprislerden ayrıştırmaya çalışacağım.

Her şey bir yana biz fizikçilerin mesleğimizin geleceğine yönelik sorumluluğu var. Bilim, daha sonra da iddia edeceğim gibi, onu uğraş edinenlerin iyi niyetle uygulaması gereken belirli bir ahlak üzerine kuruludur. Bu ahlak aynı zamanda bilimcilerin kendi inançlarını yargılayabilmelerini ve ispatlanmamış her fikrin sağlıklı bir kuşku ve eleştiri süzgecinden geçirilmesini de gerektirir. Bu da çözülmemiş sorunlar üzerine çeşitli yaklaşımların camiada eşit seviyede desteklenmesini ve kabul görmesini

getirir. Araştırma yapıyoruz çünkü en akıllımız bile cevabı bilmiyor. Geçmişte de cevap çoğu zaman ana akımın araştırdığı bölgelerin dışında bulunmuştur. Bu durumlarda ve hatta ana akımın haklı olduğu zamanlarda bile bilimin ilerleyişi ayrışık düşüncelere sahip olanların desteğine dayanır.

Bilim uyumluluk ve çeşitlilik arasındaki hassas bir dengeye ihtiyaç duyar. Kendimizi kandırmak çok kolay olduğundan, cevaplar bilinmiyor olduğundan, ne kadar iyi eğitimli ve zeki olsalar da, uzmanlar en verimli yaklaşımın hangisi olduğu hakkında uyuşmazlığa düşecektir. Sonuç olarak, eğer bilimde ilerleme olacaksa, camia belli bir problemin çözümü için değişik yaklaşımları desteklemelidir.

Temel fizik söz konusu olduğunda bu basit ilkelere artık uyulmadığına dair birçok gösterge var. Değişik yaklaşımların desteklenmesine fikren çok azımız karşı çıksa da uygulamada çok renkliliğe gitgide daha az rastlıyoruz. Bazı genç sicim kuramcıları bana eğer böyle yapmazlarsa bir üniversitede profesörlük almaları çok zor olacağından, inansalar da inanmasalar da sicim kuramı üzerine çalışmak zorunda kaldıklarını söylemişlerdi. Ve hakları var; Amerika Birleşik Devletleri'nde temel fiziğe sicim kuramı dışındaki fikirlerle yaklaşanların hemen hiçbir kariyer fırsatı yoktur. Amerikan üniversitelerinde, son on beş yıl boyunca, kuantum kütleçekim hakkında sicim kuramı dışındaki yaklaşımlar üzerinden çalışan sadece üç bilim insanına yardımcı doçentlik unvanı verildi ve bunların hepsi de tek bir araştırma grubuna gittiler. Bilimsel geçerlilik açısından sicim kuramı zorluklar yaşasa da akademik dünyada tam bir zafer kazandı.

Bu bilime zarar veriyor çünkü bazıları gerçekten de gelecek vadeden alternatif fikirlerin önünü tıkıyor. Yine de kısıtlı yatırımlara rağmen bu alanlardaki araştırmalar sicim kuramının önüne geçerek belirli deneysel öngörülerde bulunabildiler. Bunlardan bazıları üzerine kurgulanan deneyler şu sırada gelişme aşamasındalar.

Nasıl oluyor da, en iyi eğitimlerden geçmiş ve en yetenekli bini aşkın bilimcinin en iyi şartlarda araştırmalar yapmasına

rağmen, sicim kuramı başarısızlığın eşiğine geliyor? Bu beni uzun süre düşündüren bir soru oldu, ama şimdi cevabı bildiğimi sanıyorum. İnanıyorum ki başarısızlığın kaynağı şu ya da bu kuramdan ziyade, bilimsel araştırmanın 20. yüzyılın ortalarında karşılaşmış olduğu sorunlara uygun olan bir metodun, şu anda çözmeye çalıştığımız gizemlere uygun olmamasıdır. Parçacık fiziğinin standart modeli 1940'larda fiziği etkisi altına almış belli bir metodun zaferi olarak görülebilir. Bu, faydacı, inatçı ve hesaplama uzmanlığını zor kavramsal sorunlar üzerine düşünmeye üstün tutan bir yöntemdir. Albert Einstein, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger ve erken 20. yüzyılın devrimci fizikçilerinin bilim yapma yolundan oldukça farklıdır. Onların eseri uzay, zaman ve madde hakkında en basit sorular üzerine derinlemesine düşünmelerine ve yaptıkları işi daha geniş bir felsefi geleneğin parçası olarak görmelerine dayanır.

Parçacık fiziği alanında, Richard Feynman, Freeman Dyson ve diğerlerinin geliştirdiği ve ilettiği yaklaşım uyarınca, temel sorular üzerine düşünmenin araştırmada yeri yoktur. Bu onları atalarının elini kolunu bağlamış olan kuantum fiziği üzerindeki tartışmalardan korumuş ve otuz yıllık çarpıcı bir ilerlemenin gerçekleşmesini sağlamıştır. Gereken de zaten budur: Değişik araştırma metotları değişik sorunlara uygundur. Yerleşmiş çerçeveler içerisinde araştırma yapmak bu çerçevelerin oluşturulması için gerekenden çok farklı düşünce biçimleri ve çok farklı bilimciler gerektirir.

Buna rağmen, ileriki sayfalarda ayrıntılı olarak iddia edeceğim gibi, son otuz yıllık kıssadan çıkan hisse bugün karşı karşıya olduğumuz problemlerin bu faydacı yöntemle çözülemeyeceğidir. Bilimde ilerlemek için uzay, zaman, kuantum kuramı ve kozmoloji üzerine derin sorularla tekrar uğraşmamız gerekiyor. Uzun süredir kenarda bekleyen temel sorunlara çözümler icat edebilecek insanlara tekrar ihtiyacımız var. Göreceğimiz gibi, ilerlemenin şu anda mümkün olduğu, yani kuramın deneyle tekrar ilişki içine alındığı alanlar, moda akımları izlemek yerine yeni fikirler üzerine düşünmek için daha fazla zamanı olan, 20.

yüzyılın başındaki gibi temel sorunlar üzerine düşünsel ve kurucu şekilde yoğunlaşan araştırmacıların uğraştığı alanlardır.

Tekrar belirtmek isterim ki endişemin sebebi, bazıları tanıdığım en yetenekli ve başarılı bilimcilerden olan, sicim kuramcıları değildir. İnsanların inandıkları alanda araştırma yapma haklarını savunanların en başında ben yer alırdım. Ama tek bir alanın çok iyi destek alması ve diğerlerinin göz ardı edilmesi eğiliminden son derece endişeliyim.

İlerde öne süreceğim gibi, eğer gerçeğin keşfi, uzay, zaman ve kuantum dünyası hakkındaki fikirlerimizi kökten bir şekilde yeniden düşünmemizi gerektiriyorsa bu eğilim trajik sonuçlara gebedir.

KISIM I
BİTMEMİŞ DEVRİM

1. KURAMSAL FİZİKTEKİ BEŞ ANA PROBLEM

Fiziğin başlangıcından beri, bilinmeyenlerle yüzleşen nihai nesle ait olduğunu düşünenler olmuştur. Fizikçiler için fizik hep neredeyse tamamlanmış gibi gözükmüştür. Bu rahatlık ancak devrimlerin varlığında, dürüst insanlar fiziğin temellerini anlamadıklarını itiraf ettiklerinde sarsılır. Öte yandan devrimciler bile her şeyi bütünselliğe ulaştırıp bilgi arayışının sonunu getirecek o büyük fikrin çok yakınlarda olduğunu düşlerler.

Bir asırdır böyle bir devrimci dönem içindeyiz. Buna benzer en son devir erken 16. yüzyılda başlayan ve zaman, uzay, hareket ve kozmoloji üzerine Aristotelesçi fikirlerin terk edildiği Kopernik devrimidir. O devrim, Isaac Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* adlı eserini 1687'de yayımladığında tepe noktasına ulaşmıştı. Halihazırdaki devrimse 1900 yılında Max Planck'ın ısı ışınımı tayfının enerji dağılımını betimleyen denklemi bulması ve bunun sonucunda enerjinin sadece sürekli değil süreksiz bir yapıda da olabileceğini göstermiş olmasıyla başladı. Bu devrim daha tamamlanmış değildir. Bugün kuramsal fizikçilerin çözmesi gereken sorunların çoğu 20. yüzyılın bilimsel devriminin tamama ermemesi yüzünden cevapsız kalmış olanlardır.

Devam eden devrimi tamamlamamızı engelleyen unsurların çekirdeğini, her biri zorluklarıyla nam salmış beş problem oluşturur. Bu sorunlarla 1970'lerde, ben fizik üzerine kariyerime henüz başladığımda, karşılaşmıştık ve son otuz yılda içerikleri hakkında birçok şey öğrenmemize karşın hâlâ çözümlere ulaşmış değiliz. Temel fizik üzerine her kuramsal yaklaşım bu beş problemi çözmek zorundadır. Bu yüzden bunlara yakından bakmak yararlı olacaktır.

Albert Einstein kuşkusuz 20. yüzyılın en önemli fizikçisiydi. Belki de en önemli buluşu, uzay, zaman, hareket ve kütleçekim üzerine bilinen en iyi yaklaşım olan genel görelilik kuramıdır. Kütleçekimin ve hareketin birbirleriyle ve uzayzamanın geometrisiyle yakın ilişki içinde olduğu fikri bu konudaki derin kavrayışının özünü oluşturur. Bu, yüzyıllardır hâkim olmuş, uzayın ve zamanın mutlak ve sabit oldukları yaklaşımıyla çelişen bir kavrayıştır. Orada, sonsuz ve değişmez olan uzay ve zaman, üzerine konum ve enerji gibi kavramları tanımladığımız bir ardalan oluşturur.

Einstein'ın genel görelilik kuramında, uzay ve zaman sabit ve mutlak bir ardalan oluşturmazlar. Uzay madde gibi dinamiktir; hareket eder ve şekil değiştirir. Bunun sonucunda bütün bir evren genişleyebilir ya da büzülebilir ve hatta zaman başlayıp (örneğin Büyük Patlamayla) bitebilir (örneğin bir kara deliğin içinde).

Einstein başka bir başarıya daha imza atmıştı. Madde ve ışınımın yeni bir kuramına ihtiyacımız olduğunu fark eden ilk kişiydi. Aslında, yeni bir kuramın gerekliliği Planck'ın formülünde varlığını hissettiriyordu ama Planck bunun anıştırmalarını yeterli derinlikte fark etmemişti; denkleminin Newton fiziğiyle uygunluk içinde olabileceğini sanıyordu. Einstein ise bunun tersini düşünüyordu ve 1905'te yeni bir kuram üzerine ilk tanımlayıcı savı öne sürdü. Kuantum kuramı olarak bilinen sistem bu sav üzerine yirmi yıl süren araştırmalar sonucunda icat edildi.

Görelilik ve kuantum kuramları üzerine yapılan keşifler Newton fiziğinden kesin bir kopuşu gerektiriyordu. Yüzyıl sü-

resince gerçekleşen büyük ilerlemelere rağmen bu keşiflerin tamamlandığını söyleyemeyiz. Bu iki fikrin her birinin daha derin bir kurama duyulan bir ihtiyacı dile getiren kusurları var. Ama asıl sebep her biri için kendi eksikliğinin temel kaynağının diğerinin varlığı olması.

Aklımız, yerinde bir sebeple, üçüncü bir kuramın varlığını sorguluyor. Doğa aşikâr bir anlamda "birleşiktir." Evrende her şey birbiriyle bağlıdır ve etkileşim içindedir. İki değişik olguyu sanki bu olgular birbiriyle ilintili değilmişçesine betimleyen iki ayrık kuramdan söz edemeyiz. Nihai bir kuram doğanın bütünsel bir anlayışını içermelidir. Bütün bildiklerimize yer vermelidir.

Fizik böyle bir birleşik kuram olmadan uzun süredir varlığını koruyor. Bunun sebebi, deneysel veriler üzerinden konuşursak, doğayı iki âleme bölebilmiş olmamızdan kaynaklanıyor. Atomların âleminde kuantum kuramı geçerlidir ve evrensel kütleçekimi ihmal edebiliriz. Uzayı ve zamanı, Newton'ın da yapmış olduğu gibi değişmeyen bir ardalan olarak görebiliriz. Diğeri, içinde kuantum olgularını çoğunlukla ihmal edebildiğimiz, kütleçekimin ve kozmolojinin âlemidir.

Fakat böyle bir yaklaşım sorunlara ancak geçici bir çözüm sunabilir. İlerleyebilmek için kuramsal fiziğin birinci büyük problemini çözmemiz gerekir.

Birinci Problem: Genel göreliliği ve kuantum kuramını doğanın bütünsel bir anlayışını mümkün kılan tek bir kuram altında bir araya getirmek.

Buna *kuantum kütleçekim problemi* diyoruz.

Doğanın birleşik olması fikrinden öte her iki kuramın da ötekisiyle birleşmesini gerektiren kendine has sorunları vardır. İkisinde de sonsuzluklar problemi mevcuttur. Doğada sonsuz olarak ölçülen bir büyüklüğe daha rastlamadık. Yine de hem kuantum hem de genel görelilik kuramında, anlamlı bazı fiziksel büyüklüklerin sonsuz olabileceği öngörüleri mevcuttur. Olası ki bu, onun bütünselliğini kırmaya cüret etmiş dikkatsiz kuramcılara doğa tarafından kesilen cezadır.

Genel görelilikte sonsuzluklar problemi mevcuttur çünkü bir kara deliğin içinde madde yoğunluğu ve kütleçekim alanının

şiddeti çabucak sonsuz değerlere varır. Bu öngörülere, erken evrenin kuram tarafından betimlenmesinde de rastlıyoruz. Yoğunluğun sonsuz olduğu durumlarda genel görelilik denklemleri anlamsızlaşır. Bazıları bunu zamanın durması olarak yorumluyorlar, ama daha ağırbaşlı bir anlayış kuramın uygunsuz olduğunun kabulüdür. Uzun bir süredir bilge kişiler kuramın bu uygunsuzluğunu kuantum fiziğinin ihmal edilmesine bağlıyorlar.

Kuantum kuramının da sonsuzluklarla kendine has sorunları vardır. Bu sonsuzluklar elektromanyetik alan gibi alanların kuantum mekaniksel betimlenmesinden kaynaklanır. Bunu temel sebebi elektrik ve manyetik alanların uzayzamanın her bir noktasında ayrı ayrı değerler almasıdır. Bu durumda sonsuz sayıda değişkenden bahsediyor oluruz (sonlu hacmi olan bir uzay parçasında bile sonsuz sayıda nokta mevcuttur, bu da bir alanın tanımlanması için sonsuz sayıda değişken gerektirir). Kuantum kuramında her alanın değerinde keyfi dalgalanmalar olabilir. Sonsuz sayıda keyfi şekilde dalgalanan değişken, denklemlerin kontrol dışına çıkmasına ve bir sürecin gerçekleşme olasılığının ya da bir kuvvetin şiddetinin hesabında sonsuzluklara yol açabilir.

Sonuç olarak bu kuramda da önemli fiziksel bir içeriğin eksik kaldığı hissine direnmek zor. Kütleçekim göz önüne alındığında kuantum dalgalanmalarının ehlileşecebileği ve hiçbir fiziksel büyüklüğün sonsuz olmayacağı düşüncesi uzun zamandır ortak umudumuzdu: Eğer sonsuzluklar birleşmenin eksikliğinden kaynaklanıyorsa birleşik bir kuramda sonsuzluklar olmayacaktır. Böyle bir kurama *sonlu* bir kuram diyoruz; her soruya vereceği yanıt sonlu sayılarla ifade edilebilecek bir kuram.

Kuantum kuramı, çok geniş bir fenomen âlemini açıklamakta son derece başarılı olmuştur. Geçerlilik sınırları, ışınımdan transistörlerin özelliklerine, temel parçacıklar fiziğinden hayatın yapıtaşları olan enzimlerin ve diğer büyük moleküllerin etkilerine kadar uzanır. Öngörüleri geçen yüzyıldan bu yana defalarca doğrulanmıştır. Öte yandan, bazı fizikçiler kuramın betimlediği gerçekliğin garipliği karşısında şüphelerini hep korumuşlardır: Seksen yıl sonra bile kuantum kuramında hâlâ ke-

sin bir çözüme ulaştırılamamış kavramsal ikilemler var. Bir elektron hem dalga hem parçacık gibi görünür. Işık da öyle davranır. Dahası, kuram atom altı dünya hakkında bize sadece istatistiksel öngörülerde bulunabilir. Genellikle, kesin öngörüler *belirsizlik ilkesi* ile engellenmiş durumdadır. Bu prensibe göre bir parçacığın konumunu ve gidimini* aynı anda ölçemeyiz. Kuram bize sadece olasılıklardan bahseder. Gözlemci ölçene kadar bir parçacık –örneğin atom içinde bir elektron– her yerde olabilir: Sanki parçacığın durumu ölçüm neticesiyle belirlenir. Bütün bunları göz önüne aldığımızda, kuantum kuramının bize açık kılmadığı bazı şeyler olduğu izlenimine kapılmamak elde değil. Bunların sonucu olarak, kuramın, bütün başarısına rağmen, doğa hakkında henüz bilmediğimiz temel bir şeyi içerdiğine kani olmuş birçok uzman vardır.

Kuramın doğumdan beri mustarip olduğu bir sorun, kendi usulleri ve gerçeklik arasında kurduğu ilişkinin yapısındadır. Fizikçiler geleneksel olarak, bilimin, gerçeği varlığımızdan bağımsız olarak açıklaması gerektiğine inanmışlardır. Fizik sadece bir deneyde gözlemci olduğumuzda neler göreceğimizi söylemekle kalmamalı, bize gerçeğin *ne* olduğunu da göstermelidir. Bizler doğanın uzun tarihinde sahneye henüz çıkmış ve kadim bir primattan kazara evrimleşmiş bir türüz. Gerçeğin bizim varlığımıza bağlı olması düşünülemez. Kuantum kuramındaki gözlemci sorunu uzaylıların olası varlığıyla da açıklanamaz, çünkü evrenin erken zamanlarında sıcaklık ileri zekânın var olmasına izin vermeyecek kadar yüksekti.

Felsefeciler bu görüşe *gerçekçilik* adını verirler. Bunu dışımızdaki gerçek dünyanın (ya da ilk felsefe öğretmenimin kısalttığı gibi DGD'nin) bizden bağımsızca var olması gerektiğinin kabulü olarak özetleyebiliriz. Buna göre bilimde gerçekliği tanımlamak için kullanılacak kavramların neyi gözleyip neyi gözlemediğimize hiçbir temel şekilde bağlı olmaması gerektiğini görürüz.

* Gidim sözcüğünü momentum yani hareket miktarı anlamında kullandım –çn.

Kuantum mekaniği, en azından önerilen ilk haliyle, gerçekçilikle tam bir uyum içinde değildi. Bunun sebebi kuramın doğanın ikiye bölündüğü kabulüne ihtiyaç duymasıdır. Bir tarafta gözlenen sistem vardır, öbür taraftaysa gözlemciler. Olayların ne zaman gerçekleştiğini kaydetmemize yarayan saatler ve deneyler hazırlayıp ölçümler yapmamıza yarayan aletler de gözlemciyle beraberdir. Kuantum kuramı aletlerimiz aracılığıyla incelediğimiz sistemle gözlemci arasında gerçekleşen karşılıklı iletişimde kullanılacak bir dile benzetilebilir. Bu kuantum dili deneysel hazırlama ve ölçüm almayla ilgili fiiller ve nelerin gözlemlendiğiyle ilgili isimler içerir. Yokluğumuzda dünyanın nasıl bir yer olacağıyla ilgili hiçbir şey söylemez.

Kuantum kuramı ilk önerildiğinden beri bu tür bir bilimi kabul edenlerle etmeyenler arasında alevli bir tartışma süregelmiştir. Kuantum kuramının öncülerinden birçoğu, Albert Einstein, Erwin Schrödinger ve Louis de Broglie de dahil olmak üzere fiziğe bu tür bir yaklaşımı itici bulmuşlardır. Onlar gerçekçiydiler. Onlar için kuantum kuramı, ne kadar iyi çalışırsa çalışsın, tam bir kuram değildi, çünkü etkileşmediğimizde gerçekliğin bir resmini sunmaktan acizdi. Öte taraftaysa Niels Bohr, Werner Heisenberg ve diğer birçoklarını sayabiliriz. Karşısında dehşete düşmek yerine, bilim yapmanın bu yeni şeklini kucaklamışlardı.

O zamandan bu yana, gerçekçiler, kuramın halihazırdaki formülasyonunda bulunan tutarsızlıklara parmak basarak bazı başarılar elde ettiler. Bu tutarsızlıklardan bazılarının temel nedeni basittir: Eğer kuram evrenselse *bizi* de tanımlayabilmelidir. Bu basit çıkarımla kuantum kuramının dünyayı ikiye bölme gereksinimi çelişki içindedir ve sorunlara yol açar. Bir zorluk ayrım çizgisinin nerede olacağının tayini üzerinedir; bu da gözlemi kimin yaptığına bağlıdır. Bir atomu gözlediğinizde siz ve deney aletleriniz bir yanda ve atom da öbür yandadır. Fakat bir an için benim de bir video kamera aracılığıyla sizi gözlediğimi varsayın. Bütün laboratuvarınızı –sizi ve aletlerinizi ve tabii ki kurcaladığınız atomları– gözlemlediğim tek bir sistem olarak kabul edebilirim. O zaman öbür tarafta sadece ben olurum.

Sonuç olarak siz ve ben iki ayrı "sistem" oluştururuz. Sizinki sadece atomu içerir. Benimkiyse sizi, atomu ve onu izlemek için kullandığınız her şeyi içerecektir. Sizin bir ölçüm olarak adlandırdığınız eylemi ben iki fiziksel sistemin birbiriyle etkileşmesi olarak algılarım. Görüldüğü gibi, gözlemcinin etkisinin kuramın parçası olmasını kabul etsek bile kuram bu haliyle yetersizdir. Kuantum mekaniği gözlemcinin kim olduğuna bağlı olacak birçok değişik tanımlamaya izin verecek şekilde genişletilmelidir.

Bütün bu mesele *kuantum mekaniğinin temelleri problemi* olarak adlandırılıyor. Günümüz fiziğinin ikinci büyük problemi budur.

İkinci Problem: Kuantum mekaniğinin temelleri problemini ya kuramı bugünkü durumu üzerine daha anlamlı kılarak ya da anlam ifade edecek yeni bir kuram bularak çözmek.

Bunu yapmanın birçok yolu mevcut.

1. Kuram için yeni bir dil oluşturmak. Böylelikle bahsini ettiğimiz kafa karıştırıcı sorunlardan kurtulabilir ve dünyanın sistem ve gözlemci olarak nasıl ayrılacağını açık ve köklü bir şekilde kurama eklemleyebiliriz.
2. Kuramın gerçekçi olacak yeni bir anlayışını, denklemlerin yeni bir yorumunu bulmak. Böylelikle temel gerçekliği betimlemede gözlemlerin ve ölçümlerin hiç rol almamasını sağlayabiliriz.
3. Doğanın kuantum kuramına nazaran daha derin bir anlayışını sağlayan yepyeni bir kuram icat etmek.

Şu anda, bir avuç zeki insan bu üç seçenek doğrultusunda çalışmalarını sürdürmektedir. Maalesef bu problemin üzerine çalışan fizikçilerin sayısı fazla değil. Bu durum, zaman zaman, sorunun ya çoktan çözülmüş olduğu ya da önemsiz olduğunun göstergesi olarak algılanıyor. İkisi de doğru değil. Bu problem, büyük olasılıkla modern bilimin karşı karşıya olduğu en ciddi problemdir. İlerlemenin yavaşlığı sadece aşırı zorlanmadan kaynaklanmaktadır. Bu konuyla uğraşan fizikçilere, hem emellerinin saflığı hem de moda akımlara kapılmayarak en zor, en temel problemlerle uğraşma cesareti buldukları için derin bir hayranlık duyuyorum.

Yine de bütün uğraşlara rağmen, problem çözülebilmiş değil. Bu bana sorunun çözümüne sadece kuantum kuramı üzerine yeni bir düşünme biçimi bularak ulaşamayacağımızı sandırıyor. Kurama ilk halini verenler gerçekçi değillerdi. Dünyanın, eylemlerimizden ve gözlemlerimizden bağımsız bir resminin yine bizler tarafından oluşturulabileceğine inanmıyorlardı. Çok farklı bir bilim anlayışının yanında yer aldılar: Onların görüşüne göre, bilim, eylemlerimizi ve gözlemlerimizi birbirimize tanımlarken kullandığımız sıradan dilin bir uzantısından başka bir şey olamazdı.

Şimdilerde, bu yaklaşım kendi isteklerine düşkünlük –birçok açıdan ötesine geçtiğimizi umduğumuz bir zamanın ürünü– olarak görünüyor. Kuantum mekaniğini, doğanın bir kuramı olarak, ilk formüle edildiği haliyle savunanlar bunu genelde bir gerçekçilik kisvesi altında yapıyorlar. Kuramın gerçekçilik üzerinden yeni bir yorumunu savunuyorlar. Bazı ilgi çekici öneriler öne sürmüş olmalarına rağmen bu önerilerin hiçbiri tam olarak ikna edici olamamıştır.

Belki de gerçekçi felsefe yok olacaktır ama bu çok olası gözükmüyor. Ne de olsa gerçekçilik çoğu fizikçinin temel güdülenmesinin merkezindedir. Birçoğumuz için, DGD'ye inanma ve onu tamamıyla bilme olasılığı, bilimci olmak ve doğanın anlaşılmasına katkıda bulunmak için gereken zorlu çalışmalara devam edecek gücü bulmamızı sağlayan etkenlerdir. Gerçekçilerin halihazırdaki kuantum kuramı hakkındaki yorum çalışmalarının başarısızlığı göz önüne alınınca üçüncü yol gitgide en iyi seçenekmiş gibi gözüküyor: Gerçekçi bir yoruma daha elverişli yeni bir kuramın keşfi.

İtiraf etmem gerekir ki ben bir gerçekçiyim. Kuantum mekaniğinin gerçeğin eksik bir tanımı olduğu konusunda Einstein'a ve diğerlerine katılıyorum. O zaman, kuantum mekaniğindeki eksikliği nerede arayacağız? Kuantum fiziğinin daha derin bir algısının çözüm için yeterli olmayacağını hep düşünmüşümdür. İnanıyorum ki eğer bu kadar zaman sonra hâlâ çözüm bulunamamışsa bunun sebebi sorunun fizikteki diğer problemlerle bağlantısı hakkındaki bilgi eksikliğimizdir. Büyük ihtimalle

kuantum mekaniği problemi tek başına çözülemeyecek; bunun yerine, cevap fiziği birleştirmek için yaptığımız çabalar sonucunda ortaya çıkacak.

Eğer bu doğruysa iki yanı keskin bir kılıç gibi olmalıdır: Kuantum mekaniği yerine bir kuram bulamadıkça diğer büyük problemleri de çözemeyeceğiz.

Fiziğin tam olarak birleştirilebileceği düşüncesi, üzerinde en çok çalışma yapılmış bilimsel fikirdir. Fakat fizik birçok değişik şekilde birleştirilebilir ve bunları ayrıştırabilmek için dikkatli olmalıyız. Şu ana kadar *tek bir yasa etrafında* birleştirmeden bahsediyorduk. Bunun gerekli bir şart olduğuna karşı çıkacak birini düşünmek zor.

Ama dünyayı birleştirmenin başka yolları da var. Bu konu üzerine en az herkes kadar düşünmüş olan Einstein kuramları ikiye ayırabileceğimizi belirtmişti: *İlkesel* kuramlar ve *yapıcı* kuramlar. İlkesel bir kuram, bize doğanın betimlenişini mümkün kılan bir çerçeve sunar. Tanım gereği ilkesel bir kuram aynı zamanda evrensel olmalıdır: Doğa hakkında bir dil sunduğu için her şeye uygulanabilmelidir. Değişik olgulara uygulanan iki değişik ilkesel kuram olamaz. Dünya birleşik olduğundan, içindeki her şey birbiriyle etkileşim içindedir ve bu etkileşimler hakkında sadece tek bir dil olmalıdır. Kuantum kuramı ve genel görelilik ilkesel kuramlardır. Durum böyle olunca mantıksal olarak birleştirilmeleri gerekir.

Öte yandan yapıcı kuramlar belli bir olguyu belli modeller ve denklemler aracılığıyla betimler.[1] Elektromanyetik alan ve elektron kuramları yapıcı kuramlardır. Böyle bir kuram tek başına var olamaz; ilkesel bir kuram içerisinde yer almalıdır. Ama ilkesel kuramın izin verdiği ölçülerde pek çok doğal olgu kendilerine has yapıcı kuramlar aracılığıyla açıklanabilir. Örneğin

[1] John Stachel, "How Did Einstein Discover Relativity?," www.aip.org/history/einstein/essay-einstein-relativity.htm. Bazı bilim felsefecileri genel görelilik kuramını en azından kısmi olarak yapıcı kuramlar sınıfına katıyorlar. Bizim tartışmamız için ilkesel bir kuramdır, çünkü evrendeki madde dağılımından bağımsız olarak, uzayın, zamanın ve hareketin *nasıl* betimleneceğini belirler.

elektromanyetik alan kozmolojik kara maddeyi (evrende maddeden çok daha fazla kara madde vardır) açıklayan yasalardan farklı kurallara uyar. Kara madde hakkında bildiğimiz birinci özellik, her neyse kara olduğudur. Bu da ışık yaymadığı ve buna bağlı olarak elektromanyetik alanla hiç etkileşmediği anlamına gelir. Böylece iki yapıcı kuramın nasıl beraber var olabileceğini görüyoruz.

Bunu şu şekilde de söyleyebiliriz: Elektromanyetik yasalar doğada başka nelerin var olduğu hakkında bir şey söylemez. Kuarklar var olabilir ya da olmayabilir, nötrinolar ya da kara madde de öyle. Aynı şekilde atom çekirdeği içinde etkili –yeğin ve zayıf– kuvvetler bir elektromanyetik alana ihtiyaç duymazlar. İçinde yeğin çekirdek kuvvetinin olmadığı ama elektromanyetik alanın var olduğu bir dünya da düşünebiliriz, tersini de. Bildiğimiz kadarıyla iki seçim de tutarsız olmayacaktır.

Yine de doğada gözlemlediğimiz tüm kuvvetlerin, tek bir temel kuvvetin alametleri olup olmadıklarını sorabiliriz. Bildiğim kadarıyla bunun *doğru olmasını* gerektiren mantıksal bir sav yok, ama yine de *doğru olabilir*.

Değişik kuvvetleri birleştirme arzusu fizikte kayda değer birçok ilerlemeye yol açmıştır. 1867'de James Clerk Maxwell, elektrik ve manyetizmayı tek bir kuram altında birleştirmişti ve bir asır sonra fizikçiler elektromanyetik alanın ve zayıf çekirdek kuvvetinin (radyoaktif bozunmadan sorumlu kuvvet) birleştirilebileceğini fark ettiler. Bunun sonucunda, öngörüleri son otuz yıldır defalarca doğrulanmış olan elektrozayıf kuram doğdu.

Doğada elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin birleşmesinin dışında kalan (bildiğimiz) iki kuvvet var. Bunlar kütleçekim ve yeğin çekirdek kuvvetleridir. Yeğin çekirdek kuvveti, kuarkları bir arada tutarak, atomik çekirdeğin temel taşları olan proton ve nötronları oluşturan kuvvettir. Acaba bütün bu dört kuvveti birleştirebilir miyiz?

Üçüncü büyük problem budur.

Üçüncü Problem: Bilinen bütün parçacıkları ve kuvvetleri tek bir unsurla açıklayabilecek bir kuramın var olup olmadığını belirlemek.

Bu probleme, *parçacıkların ve kuvvetlerin birleştirilmesi problemi* diyelim. Böylelikle onu daha önce bahsini ettiğimiz, ilkelerin birleştirilmesi kavramından ayırmış oluruz.

İlk seferde, bu problem kolay gibi gözükür. Kütleçekim ile elektromanyetizmayı birleştirmeye çalışan ilk öneri 1914'te ortaya çıkmıştı ve bunu izleyen çok sayıda diğerleri oldu. Eğer doğanın kuantum mekaniksel olduğunu ihmal edersek, bu kuramların hepsi işlevseldir. Eğer kuantum kuramını kenara bırakırsak birleşik kuramlar bulmak son derece kolaydır. Kuantum kuramının işin içine dahil edilmesi, bu tür çalışmaları çok ama çok zorlaştırır. Kütleçekim doğada mevcut dört kuvvetten biri olduğu için, kuantum kütleçekim problemini (yani kuantum kuramını kütleçekimle beraber tasvir edebilme, ki bu bahsettiğimiz birinci problemdir) kuvvetlerin birleştirilmesi problemiyle beraber çözmeliyiz.

Geçen asır süresince, dünya üzerine fiziksel anlayışımız oldukça basitleşti. Sadece iki tür parçacık olduğunu biliyoruz: kuarklar ve leptonlar. Kuarklar, proton ve nötronların ve keşfettiğimiz bunlara benzeyen diğer birçok parçacığın yapıtaşlarıdır. Leptonlar, elektron ve nötrino gibi, kuark olmayan bütün diğer parçacıklardır. Bildiğimiz kadarıyla dünya altı tip kuark ve altı tip leptondan oluşmuştur. Bu temel parçacıklar birbirleriyle, kütleçekim, elektromanyetizma, zayıf ve yeğin çekirdek kuvvetleri aracılığıyla etkileşirler.

On iki parçacık ve dört kuvvet, bilinen evrendeki her şeyi açıklamak için ihtiyacımız olan yegâne unsurlardır. Bu parçacıkların ve kuvvetlerin temel fiziğini de oldukça iyi biliyoruz. Kütleçekim ihmal edildiğinde bahsettiğimiz bütün parçacıkları ve kuvvetleri açıklayabilen kuramı *temel parçacıklar fiziğinin standart modeli* olarak adlandırıyoruz: kısaca standart model de deniyor. Bu kuramda daha önce bahsini ettiğimiz sonsuzluklar bulunmuyor; hesaplamak istediğimiz her büyüklük için sonlu bir yanıt bulabiliyoruz. Öne sürülüşünden itibaren geçen otuz küsur yılda bu kurama dayanarak birçok öngörüde bulunduk ve bunların hepsi de deneysel olarak kontrol edildi ve doğrulandı.

Standart model 1970'lerin başında kurgulanmıştı. Nötrinoların kütleli olduğunun gözlemi dışında hiçbir düzeltmeye gerek duyulmadı. O zaman fizik neden 1975'te nihai bir bütünselliğe erişmedi? Geriye ne kalmıştı?

Bütün kullanışlılığına rağmen standart modelin büyük bir kusuru var: Ayarlanabilir çok sayıda sabit içeriyor. Kuramın yasalarının kesin bir tanımına varmak için bu sabitlerin değerlerini de belirtmeliyiz. Bildiğimiz kadarıyla kuram bu değerler hakkında seçici değil: Hangi değerleri seçersek seçelim tutarlı bir kuram olarak kalmaya devam ediyor. Bu sabitler parçacıkların özelliklerini belirliyor: Bazıları kuarkların ve leptonların kütlesini, diğerleri kuvvetlerin şiddetini. Bu sayıların gözlenen değerinin neden böyle olduğu hakkında bir bilgimiz yok; sadece deneyler aracılığıyla onları belirleyip kuramda yerlerine koyuyoruz. Eğer standart modeli bir hesap makinesi gibi görürsek, bu sabitler de makinenin üzerinde yer alan ayar düğmelerine benziyor.

Bu sabitlerden yaklaşık yirmi adet var. Bu kadar çok serbestçe ayarlanabilir sabit olmasını temel bir kuram olma iddiasındaki standart model için bir utanç kaynağı olarak görüyoruz. Bu sabitlerden her biri bilgimizdeki eksikliklere işaret ediyor: Gözlenen değerlerin fiziksel sebeplerini ya da buna yol açan mekanizmaları anlamıyoruz.

Bu dördüncü büyük problemimiz.

Dördüncü Problem: Standart modelde yer alan sabitlerin neden doğada gözlenen değerleri aldıklarını açıklamak.

Parçacıkların ve kuvvetlerin birleşik bir kuramının bu soruya muğlak olmayan bir yanıt vereceğine içten inanılıyor.

1900 yılında, sözü geçen bir İngiliz fizikçisi olan William Thomson (Lord Kelvin), fiziğin ufukta gözüken iki küçük bulut dışında bitmiş olduğunu iddia etmişti. Sonradan bu "bulutların" bizi kuantum ve görelilik kuramlarına ulaştıracak ipuçlarından başka bir şey olmadığı anlaşıldı. Şimdi, coşku içinde bütün fiziksel olguları standart model ve kütleçekim aracılığıyla açıklayabildiğimiz şu durumda, biz de ufukta iki bulut görüyoruz. Bunlar kara madde ve kara enerjidir.

Kuantum kuramıyla olan ilişkisi dışında kütleçekimi çok iyi anladığımızı düşünüyoruz. Genel göreliliğin öngörüleri deneylerle çok kesin bir uyum içinde. Bu gözlemler, dünya üzerinde düşen cisimlerden ve ışıktan, gezegenlerin ve ayların hareketine ve galaksiler ile galaksi kümelerinin boyutlarına kadar uzanır. Uzayın madde tarafından bükülmesi sonucu ortaya çıkan kütleçekimsel mercekler gibi daha önce egzotik sayılan olgular artık o kadar iyi anlaşılmışlardır ki galaksi kümelerinin kütlelerini ölçmek için kullanılırlar.

Hızların ışık hızına oranla düşük olduğu durumlar ve maddenin çok tıkız olmayan oluşumları için Newton'ın yasalarından elde edilen sonuçlar genel görelilik kuramının öngörülerine mükemmel bir yaklaşıklıktadır. Bu durum karşısında, Newton yasalarının, bize belli bir yıldızın hareketinin galaksideki diğer yıldızlardan ve unsurlardan nasıl etkileneceği konusunda yardım edebileceğini düşünmekten kendimizi alamayız. Fakat durum böyle değildir. Newton'ın kütleçekim yasası bir cismin ivmesinin etrafında hareket ettiği diğer bir cismin kütlesiyle doğru orantılı olduğunu söyler. Güneşi ne kadar kütleliyse gezegenin yörünge hareketi de o kadar hızlıdır. Bu, eğer iki değişik yıldızın etrafında onlara eşit uzaklıkta birer gezegen dönüyorsa, ağır yıldızın etrafındaki gezegen daha hızlı hareket edecek demektir. Sonuç olarak eğer bir yıldızın etrafında yörüngede olan bir cismin hızını ve yıldıza uzaklığını bilirsek, yıldızın kütlesini bulabiliriz. Aynı durum galaksi merkezinin etrafında dönen yıldızlar için de geçerlidir; bunların yörüngesel hızlarını ölçersek, galaksideki kütle dağılımını ölçmüş oluruz.

Son on yıllar boyunca, astronomlar çok basit bir deney yaptılar; bir galaksinin kütlesini iki değişik şekilde ölçüp sonuçları karşılaştırdılar. İlk olarak, galaksi kütlesini yıldızların yörüngesel hızlarını gözleyerek ölçtüler, sonra bunu daha dolaysız bir şekilde, görünen bütün yıldızları, gaz ve toz bulutlarını sayarak yaptılar. İki yöntem de galaksideki toplam kütleyi ve bunun dağılımını vermeliydi. Kütleçekimi iyi anladığımız ve bilinen bütün maddenin ışık saçtığı bilgisi veri olduğunda iki yöntem birbiriyle tutarlı olmalıydı.

Fakat böyle olmadı. Astronomlar iki metotla yüzden fazla galaksinin kütlesini ölçtüler. Bu galaksilerden hemen hemen her biri için iki metodun verdiği sonuçlar uyuşmadı ve bu uyuşmazlık bazen iki değer arasında on kata varan farklılıklar içeriyordu. Dahası, hata her zaman aynı yönde oluşuyordu: görünen maddeyi sayarak yapılan ölçüm her zaman daha az kütleli bir galaksi öngörüyordu.

Bunun sadece iki açıklaması olabilir. Ya bir galakside görünenden daha fazla madde vardır ya da Newton yasaları bir galaksinin kütleçekim alanının etkisi altındaki yıldızların hareketini açıklayamamaktadır.

Bilinen bütün madde biçimleri ışık saçar; ya bir yıldız gibi bir kaynak olarak ya da gezegenler veya yıldızlar arası kaya, gaz ve toz gibi gelen ışığı yansıtarak. Bu durumda eğer göremediğimiz madde varsa bu ışığı ne yayan ne de yansıtan yepyeni bir biçim olmalıdır. Aynı zamanda, tutarsızlığın boyutlarını göz önüne aldığımızda bir galaksideki maddenin çoğunluğu bu yeni biçimde olmalıdır.

Bugün astronomların çoğu bulmacanın doğru çözümünün bu olduğuna inanıyor: büyük miktarda madde eksik, orada olmalı ama onu göremiyoruz. Bu gizemli eksik maddeye *kara madde* deniyor. Kara madde varsayımı genel kabul görüyor çünkü diğer seçenek –Newton yasaları ve nihayetinde genel görelilik hakkında yanılıyor olduğumuz olasılığı– düşünmek için bile çok korkutucu.

Sonraları olaylar daha da gizemli bir hal aldı. Milyarlarca ışık yılı seviyesinde gözlemler yaptığımızda gördük ki kara madde eklendiğinde bile genel görelilik denklemlerini dengelemek mümkün olmuyordu. Büyük Patlamayla yaklaşık 13,7 milyar yıl önce oluşmuş olan evrenin hızlanarak genişlediğini gözlemledik. Halbuki sadece kara madde göz önüne alındığında evrenin genişleme hızı azalıyor olmalıydı.

Bu durumda da sadece iki açıklama yolu mevcut. Genel görelilik yanlış olabilir. Aslında büyük başarısını sadece güneş sistemi ve galaksimiz içinde bize yakın sistemler üzerine yapılmış deneylerle sağlamıştır. Belki de, evren boyutlarında büyüklüklerle uğraştığımızda genel görelilik basbayağı yanlıştır.

Ya da maddenin yeni bir biçimi –ya da Einstein'ın meşhur $E = mc^2$ denklemini hatırlarsak, enerjinin yeni bir biçimi– bu mesafelerde önem kazanıyor; bu yeni tür enerji sadece evrenin genişlemesini etkiliyor. Bu etkiyi galaksilerin etrafına toplanarak sağlayamaz. Deneysel veriler ışığında öne sürülen bu garip yeni enerjiye, *kara enerji* diyoruz.

Maddenin birçok hali basınç altındadır fakat kara enerji gerilim altındadır, yani nesneleri itmek yerine çeker. Bu yüzden, gerilim bazen eksi basınç olarak da adlandırılır. Kara enerji gerilim altında olmasına rağmen, evrenin genişlemesini yavaşlatmak yerine hızlandırır. Eğer bu kafa karıştırıcıysa, anlayış gösteririm. Eksi basınca sahip bir maddenin bir tür lastik gibi davranarak galaksileri birbirine bağlayıp evrenin genişlemesini yavaşlatması beklenirdi. *Ama genel görelilikte eğer eksi bir basınç yeteri kadar şiddetliyse etkisi tersine döner.** Evrenin hızlanarak genişlemesine yol açar.

Son ölçümler evrenin çoğunlukla bilinmeyenden oluştuğunu açığa çıkarıyor. Madde yoğunluğunun yaklaşık yüzde yetmişlik bir kısmı kara enerjidir. Yirmi altılık yüzdesi de kara maddeden oluşmakta. Bildiğimiz maddenin katkısıysa sadece yüzde dört. Kısacası standart modelin betimlediği madde şekilleri evrendeki maddenin yirmide birinden daha azdır. Diğer yüzde doksan altı hakkında, bahsettiğimiz genel özellikler dışında hiçbir şey bilmiyoruz.

Son on yılda kozmolojik ölçümler gitgide daha hassas hale geldi. Bu, kısmen, yaklaşık her on sekiz ayda bir bilgisayarların hesaplama hızının ikiye katlandığını söyleyen Moore yasasına dayanır. Bütün bu yeni deneyler, gerek uydularda gerek yerde kurulu teleskoplarda mikroişlemciler kullanırlar, böylelikle işlemciler hızlanınca deneyler de hızlanır. Bugün evrenin genişleme hızı ve madde yoğunluğu gibi konularda detaylı bilgiye sahibiz. Artık, tıpkı temel parçacıklar fiziğinin standart modeli

* Enerji yoğunluğunun hep pozitif olduğu veriyse, ki bu basınç yoksa ya da pozitifse hep çekiciliğe yol açacaktır, negatif bir basınç evrensel çekicilik manasında her zaman buna karşı çalışır. Yeteri kadar negatif olduğunda savaşı kazanır –çn.

gibi, standart kozmoloji diyebileceğimiz bir kuramımız var. Tıpkı taydaşı gibi standart kozmolojide de serbestçe ayarlanabilen sabitler var. Bu yaklaşık on beş sayının içinde, maddenin değişik biçimlerinin yoğunluğu ve genişleme hızı gibi büyüklükler var. Kimse bu sayıların neden doğadaki değerleri aldığını bilmiyor. Parçacık fiziğindeki gibi bu sayılar deneylerle ölçülerek kuramda yerlerine konuyor.

Bu kozmolojik gizemler beşinci problemimizi oluşturuyor.

Beşinci Problem: Kara maddenin ve kara enerjinin açıklanması. Eğer bunlar yoksa kütleçekim kanunlarının büyük uzaklıklarda neden ve nasıl değiştiğinin belirlenmesi. Daha genel olarak standart kozmolojideki sabitlerin neden gözlenen değerlere sahip olduklarının açıklanması.

Bu beş problem şu andaki bilgimizin sınırlarını çizmektedir. Geceleri kuramsal fizikçilerin uykusunu kaçırırlar. Kuramsal fiziğin sınırları üzerine yapılan araştırmaların temel itkisidirler.

Doğanın temel bir kuramı olma iddiasındaki her kuram bu problemleri çözebilmelidir. Bu kitabın amaçlarından biri, sicim kuramı gibi yeni kuramların bu konudaki başarısını değerlendirmektir. Bunu yapmadan önce, birleştirme fikrinin daha eski uygulamalarını gözden geçirmemiz gerekiyor. Başarılardan öğreneceğimiz çok şey var; başarısızlıklardan da.

2. GÜZELLİK EFSANESİ

Kötü aşk romanlarında olduğu gibi fizikte de en aziz tutulan erek, birleşmedir. Daha önce farklı oldukları düşünülen iki şeyi bir araya getirmek ve onların tek bir unsurun değişik suretleri olduğunu göstermek, eğer bunu başarabilirsek, bilimin en büyük heyecanıdır.

Bir birleştirme önerisi karşısında şaşakalmak aslında en aklı başında tepkidir. *Güneş sadece bir yıldızdır ve yıldızlar sadece çok uzaktaki güneşlerdir!* Geç 16. yüzyılda bir oyuncunun ya da bir demircinin, Giordano Bruno'nun bu çılgın fikrini duyduğunda vereceği tepkiyi göz önüne getirmeye çalışın. Onlar için yıldızları ve güneşi birleştirmekten daha saçma ne olabilirdi? İnsanlara, güneşin Tanrı tarafından dünyayı ısıtmak için yaratılmış bir ateş topu olduğu, yıldızlarınsa göksel kürede cennet ışığının geçmesi için delinmiş delikler oldukları öğretiliyordu. Birleştirme dünyanızı birdenbire tepetaklak edebilir. Daha önce inandıklarımız imkânsızlaşır. *Eğer yıldızlar güneşlerse o zaman evren düşündüğümüzden çok daha büyük olmalıdır! O zaman cennet hemen başımızın üstünde olamaz!*

Daha da önemlisi, bir birleştirme önerisi yanına daha önce düşünülmemiş varsayımları katarak gelir. *Eğer yıldızlar diğer güneşlerse, bunların etrafında gezegenler ve bu gezegenler üzerinde de yaşayan diğer insanlar olmalıdır!* Bu imalar çoğunlukla bilimin de sınırlarını aşar. *Eğer diğer gezegenlerde de yaşayanlar varsa, o zaman ya İsa hepsine birden görünmüştür, ki bu durumda İnsan'a görünmesi tekil bir olay değildir ya da bütün o yaşayanlar kurtuluştan mahrum kalacaktır.* Katolik Kilisesinin Bruno'yu canlı canlı yakmasına şaşmamalı.

Büyük birleştirmeler üzerlerine yepyeni bilim dallarının inşa edildiği temellere dönüşür. Bazen bunun sonuçları dünya görüşümüzü o kadar tehdit eder ki şaşkınlığın arkasından

hemen reddetme gelir. Darwin'den önce, yaşayan her tür ebedi olduğu düşünülen sınıflar içinde yer alıyordu. Her biri, teker teker, Tanrı tarafından yaratılmıştı. Doğal seçilim fikriyse bütün türlerin ortak bir atası olduğuna işaret ediyordu. Her tür, bir büyük aile içinde birleştirilmişti. Darwin'den önceki biyoloji ile Darwin'den sonraki biyoloji aynı bilim değildir.

Böylesine güçlü kavrayışlar çabucak yepyeni keşiflere yol açarlar. *Eğer yaşayan bütün canlıların ortak bir atası varsa, aynı şekillerde oluşmuşlardır!* Aslında, *biz* de aynı şekilde var olduk, çünkü bütün yaşam hücrelerden oluşmuştur. Bitkiler, hayvanlar, mantarlar ve bakteriler birbirlerine hiç benzemez gibidir, ama aslında hepsi değişik şekilde toplanmış hücrelerden oluşur. Bu hücreleri oluşturan ve onlara enerji sağlayan kimyasal süreçler yaşamın bütünü için aynıdır.

Eğer birleştirmeler ön yargılarımız için tehdit oluşturuyorsa, bazılarının bu yeni fikirleri benimsemesini nasıl anlayacağız? Bu, birçok açıdan buradaki öykümüzün kalbini oluşturuyor, çünkü bu öykü önerilmiş birçok birleştirmenin öyküsü. Birtakım fizikçiler bu fikirlerden bazılarına derin bir inanç duyuyorlar. Yine de bu fikirlerden hiçbiri genel bir kabul görmüş durumda değil. Kökten farklı değişik dünya görüşlerinin varlığı, bazen duygusal çatışmalara varan canlı tartışmalar yaratıyor. Peki birisi yeni bir birleştirme önerdiğinde doğru olup olmadığını nasıl anlayabiliriz?

Tahmin edeceğiniz gibi, her birleştirme önerisi doğru çıkmıyor. Bir zamanlar, kimyacılar ısının tıpkı madde gibi bir töz olduğunu düşünmüşlerdi. Buna *flojiston* adını verdiler. Bu kavram ısı ve maddeyi birleştirmişti. Ama yanlıştı. Madde ve ısının birleştirilmesi için doğru önerme, ısının maddeyi oluşturan atomların rastgele hareketinin enerjisi olduğudur. Atomculuk her ne kadar eski Hint ve Yunan filozofları tarafından önerilmiş olsa da ısının atomcu anlayışının tutarlı bir şekilde geliştirilmesi ancak 19. yüzyılın sonlarında mümkün oldu.

Fizik tarihinde birçok birleştirme önerisi yanlış çıkmıştır. Işığın ve sesin temelde aynı şey olduğu önerisi bunlardan – ünlü– birisidir. Buna göre her iki olgu da madde içindeki titre-

şimlerdir. Ses hava içindeki titreşimler olduğundan, ışığın da *esir* adı verilen yeni bir madde türü içindeki titreşimler olduğu öne sürülmüştü. Tıpkı etrafımızdaki uzay havayla dolu olduğu gibi, evren de esirle doludur. Einstein, bu fikri, kendi birleştirme önerisiyle silip atmıştır.

Bilim insanlarının son otuz yılda üzerine çalıştıkları her önemli fikir –sicim kuramı, süpersimetri, fazladan boyutlar, ilmekler ve diğerleri gibi– bir birleştirme fikridir. Hangilerinin yanlış hangilerinin doğru olduğunu nasıl anlayabiliriz?

Daha önce başarılı birleştirmelerin iki ortak noktasını belirtmiştim. Bunlardan birincisi olan şaşkınlık, küçümsenemez. Eğer bir fikir şaşkınlığa yol açmıyorsa ya daha önce bildiğimiz bir şeydir ya da fazla ilgi çekici değildir. İkinci olarak, sonuçların çarpıcı olması gerekir: Birleştirme çabucak yepyeni kavrayışlara ve varsayımlara yol açabilmeli, anlayışımızda bir ilerlemenin motoru olmalıdır.

Bu ikisine de baskın çıkan üçüncü bir etken var. İyi bir birleşik kuram, daha önce kimsenin düşünemediği yepyeni öngörülerde bulunabilmelidir. Hatta bu öngörüler sadece bu kuram açısından anlamlı olacak yeni deneylere işaret edebilmeli ve en önemlisi bu öngörüler deneyler aracılığıyla doğrulanmalıdır.

Bu üç ölçüt –şaşkınlık, yeni kavrayışlar ve deneysel olarak doğrulanmış yeni öngörüler– günümüzde birleştirme için yapılan önerileri yargılarken arayacağımız özellikler olacak.

Fizikçiler birleştirme için derin bir ihtiyaç duyarlar ve bazıları daha geniş birleştirmeler için atılacak her adımın bizi gerçeğe daha da yakınlaştıracağını söyler. İşler bu kadar basit değil. Herhangi bir anda, her biri bilimin çok değişik yönlerde ilerlemesine yol açacak, birçok birleştirme şekli olabilir. 16. yüzyılda iki değişik birleştirme önerisi vardı. Aristoteles'in ve Ptolemaios'un kurduğu, gezegenleri güneş ve ayla birleştirilip göksel kürelere yerleştiren eski kuram ve Kopernik'in dünya ve gezegenleri birleştiren yeni önerisi. Bu iki kuram da bilim için önemli sonuçlar içeriyordu. Kaldı ki sadece birisi doğru olabilirdi.

Bu örnek üzerinden yanlış birleştirmeyi seçmenin faturasını algılayabiliriz. Eğer dünya evrenin merkezindeyse bu, hareketi

anlayışımız için son derece etkili sonuçlar doğurur. Gezegenler gökyüzünde yön değiştirirler çünkü sonsuza dek dönecek çemberlere iliştirilmişlerdir. Dünya üzerindeki şeylerdeyse bunu hiç görmeyiz: İttirdiğimiz ya da fırlattığımız nesneler çabucak hareketine son verir. Kozmik çemberlere bağlı olmayan nesnelerin doğası böyledir. Kısacası Ptolemaios'un ve Aristoteles'in evreninde hareketle hareketsizlik arasında derin bir uçurum vardır.

Onların dünyasında, gökler ile dünya arasında da büyük farklılıklar vardır: dünyadaki nesneler göklerdeki nesnelerden farklı yasalara göre hareket ederler. Ptolemaios güneşin, ayın ve bilinen beş gezegenin, kendileri de çemberler üzerinde devinen çemberler üzerinde hareket ettiğini önermiştir. Episikl denen bu çemberler aracılığıyla tutulmalar ve gezegenlerin hareketleri öngörülebilmiştir. Hatta bu öngörüler binde birlik bir kesinlikle doğrulanmıştır. Buradan güneş, dünya ve ayın birleşik bir model çerçevesinde ele alınmasının verimli olduğunu görüyoruz. Aristoteles, dünyanın evrenin merkezi olduğu fikrine şöyle bir açıklama getirmişti: Dünya dünyevi tözden oluşmuştur, bu tözün doğası çemberler üzerinde dönmek değil merkeze yönelmektir.

Bu çerçevede düşünmeye ve onun açıklama gücüne güvenmeye alışmış biri için, Kopernik'in dünyanın güneşle değil gezegenlerle beraber ele alınması önerisi oldukça rahatsızlık vermiş olmalıydı. Eğer dünya bir gezegense üzerindeki her şeyle beraber hareket halinde olmalıydı. Bu nasıl olabilirdi? Aristoteles'in açıkça belirtmiş olduğu gibi bu göksel bir çemberde devinmeyen her şeyin durması gerektiği yasasına aykırıydı. Öte yandan bu deneyimlerimizle de çelişen bir öneriydi, eğer böyle bir hareket varsa biz neden hissetmiyorduk?

Bu bulmacanın çözümü bütün bilim içindeki en büyük birleştirmedir: *hareketin ve hareketsizliğin birliği*. Bu ilke Galileo tarafından önerilmiş ve Newton'ın *eylemsizlik yasası* olarak da bilinen ilk yasasında tanımlanmıştır: Hareketsiz ya da durağan hareket eden bir cisim bu hareketini kuvvetler tarafından engellenene kadar sürdürür.

Newton durağan hareket derken sabit bir hızda ve sabit bir yönde gerçekleşen bir hareketten bahsediyor. Bu durumda hareketsiz olmak durağan hareketin özel bir hali oluyor; sıfır hızda hareket.

Nasıl oluyor da hareket ve hareketsizlik arasında bir fark olmuyor? Bunu anlamanın anahtarı bir cismin hareket edip etmediğinin mutlak bir anlamı olmamasında gizlidir. Hareket sadece bir gözlemciye göre tanımlanır. Bu gözlemci yerinde duruyor ya da hareket ediyor olabilir. Eğer benim yanımdan geçerseniz, bana göre masanın üzerinde hareketsiz duran kahve fincanı size göre hareket ediyor olacaktır.

Fakat bir gözlemci hareket edip etmediğini bilemez mi? Aristoteles'e sorarsak kesinlikle bunu ayrıştırabilir. Galileo ve Newton hayır demek zorunda kaldılar. Eğer dünya hareket ediyor ve biz bunu hissetmiyorsak o zaman sabit hızla hareket eden gözlemciler hareketlerinin bilincinde olmamalılar. Sonuç olarak hareketsizlik ile sabit hareket arasında ayrıştırma yapamayız ve hareket tamamıyla göreli bir büyüklük aracılığıyla tanımlanmalıdır.

Burada önemli bir püf noktası var: Aslında durağan hareketlerden bahsediyoruz; bir çizgi üzerinde olanlardan. (Öte yandan dünya düz bir çizgi üzerinde hareket etmemesine rağmen durağan hareketten sapmalar dolaysız bir şekilde ve ani olarak hissedilemeyecek kadar ufaktır.) Eğer hızımızı ya da yönümüzü değiştirirsek bunu hissederiz. Bu tür değişimlere *ivmelenme* denir ve ivmelenmenin mutlak bir anlamı vardır.

Galileo ve Newton'ın ulaştığı zihinsel başarı incelikli ve güzel bir zaferdir. Diğerleri hareketin ve hareketsizliğin kolayca ayrıştırılabilecek farklı olaylar olduğuna aşikâr gözüyle bakıyorlardı. Fakat eylemsizlik ilkesi ikisini birleştirmiştir. Bunların neden ayrık gözüktüklerini açıklamak için Galileo *görelilik ilkesi*'ni geliştirdi. Bu ilke, bize hareketin ve hareketsizliğin sadece bir gözlemciye bağıl olarak anlamlandırılabileceğini söyler. Değişik gözlemciler değişik şekillerde hareket ettiklerinden hangi cisimlerin hareketli hangilerinin hareketsiz olduğuna dair değişik gözlemlerde bulunurlar. Bu ilkeye

göre, her bir gözlemcinin hareket ve hareketsizlik arasında ayrım yapabileceği gerçeği değişikliğe uğramaz, fakat bir cismin hareket edip etmediği açıklanması gereken bir olgu olmaktan çıkar. Aristoteles'e göre eğer bir cisim hareket ediyorsa üzerine bir kuvvetin etki etmesi gerekir. Newton'a göreyse hareket durağansa sonsuza kadar sürecektir, sürekliliği için bir kuvvete ihtiyaç yoktur.

Bu, daha sonraları da birçok kuramda kullanılmış güçlü bir yaklaşımdır. Değişik algılanan şeyleri birleştirmenin bir yolu değişikliğin gözlemcilerin farklılıklarından kaynaklandığını göstermektir. Böylelikle daha önceleri mutlak algılanan bir ayrım göreli bir farklılığa dönüşür. Bu tür birleştirmeler ender gerçekleşir ve bilimsel yaratıcılığın en üst düzeyindedirler. Böyle bir sonuca ulaşıldığında dünya algımız kökten değişir.

Daha önceleri çok farklı algılanan iki şeyin birleştirilmesi önerisi için genelde çok kapsamlı açıklamalar gerekir. Sadece ender durumlarda, farklılığın değişik bakış açılarından kaynaklandığını gösterdiğinizde, bu tür açıklamalara gerek duymayabilirsiniz. Diğer durumlarda birleştirmeyi seçtiğiniz şeyler apaçık bir şekilde başkadırlar. İki bambaşka olgunun bir şekilde aynı olduğunu açıklamaya çalışmak bir kuramcının başını oldukça fazla derde sokabilir.

Bruno'nun fikrine geri dönelim: Yıldızlar birer güneştir. Yıldızlar güneşe oranla çok sönüktür. O zaman çok uzakta olmaları gerekir. Bu durumdaysa evrenin o zamanlar kabul edilenden çok daha büyük olması gerekir. Bruno'nun teklifi en başta zırva gözükmüştü.

Şüphesiz ki aslında bu öneri yeni ölçümler konusunda yönlendirici olabilirdi: Eğer yıldızların uzaklıkları ölçülmüş olsaydı gezegenlerden çok uzaklarda oldukları görülecekti. Bu deneyler Bruno'nun zamanında yapılabilseydi, yakılmaktan kurtulabilirdi. Maalesef bir yıldızın uzaklığının ölçülmesi için yüzyıllar geçecekti. Bruno aslında, zamanın teknolojik olanakları göz önüne alındığında sınanamayacak bir öneride bulunmuştu: Yıldızların o kadar uzakta olması gerektiğini söylüyordu ki kimse bu fikri kontrol edemezdi.

Bunlar ışığında anlıyoruz ki şeyleri birleştirirken bazen sınanamayacak varsayımlarda bulunmak gerekebiliyor. Gördüğümüz gibi bu, varsayımın yanlış olduğu değil, ama öneriyi yapanların kendilerini tehlike içinde bulabilecekleri anlamına gelir.

Daha da kötüsü var: Bu tür varsayımlar birbirlerini güçlendirme eğilimi taşırlar. İşin aslı, Kopernik yıldızların uzakta olmasına ihtiyaç duyuyordu. Eğer Aristoteles'in inandığı gibi, yıldızlar yakında olsalardı, dünyanın olası hareketini yadsımak mümkün olurdu: yıldızların bağıl yerleri değişirdi. Bu etkinin neden gözlenmediğini açıklamak için, Kopernik ve onu izleyenler yıldızların çok uzakta olduklarına inanmak zorundaydılar. (Şüphesiz ki yıldızların da hareket ettiğini biliyoruz, ama çok uzakta olduklarından bu hareket dünya üzerinden son derece yavaşmış gibi algılanır.)

Eğer yıldızlar çok uzaktaysa, onları nasıl görebiliyorduk? Çok parlak, belki de güneş kadar parlaksalar. Sonuç olarak, Bruno'nun evrenin sonsuz sayıda yıldızla dolu olduğu şeklindeki önerisi Kopernik'in dünyanın bir gezegen gibi hareket ettiği fikriyle uyum içindeydi.

Görüyoruz ki, değişik birleştirme önerileri çoğunlukla el ele yürüyor. Yıldızların ve güneşin birleştirilmesi ve gezegenlerin ve dünyanın birleştirilmesi birbirleriyle uyum içindeydiler ve bunların her biri hareket ve hareketsizliğin birleştirilmesini gerektiriyordu.

Bu yeni fikirler 16. yüzyılda ortaya çıktıklarında diğer bir fikirler kümesiyle çelişki içindeydi. Ptolemaios'un gezegenleri güneş ve ayla birleştiren ve bunların episikler üzerinde devindiklerini söyleyen önerisi Aristoteles'in, bilinen tüm olguları birleştiren hareket kuramıyla uyum içindeydi.

İki adet fikir kümesiyle karşı karşıyayız, her birinin kendine özgü birleştirme önerileri var. Demek ki, asıl önemli olan, değişik şeyleri değişik seviyelerde birleştiren bir fikir kümesinin bütünüdür. Tartışma sonuçlanana kadar bunlardan herhangi birine inanmak için birçok sebep olabilir. İki taraf da deneysel desteklere sahip olabilir. Bazen tek bir deney birbiriyle yarışan kuramların her ikisi için de bir kanıt olarak sunulabilir.

Bunun nasıl olabileceğini görmek için bir kulenin tepesinden bırakılmış bir küreyi ele alalım. Ne oluyor? Düşüyor ve kulenin dibinde yere çarpıyor. Batıya doğru gitmiyor. Diyebilirsiniz ki, işte, Kopernik ve onu izleyenler açıkça hatalılar, çünkü bu deney dünyanın kendi etrafında dönmediğini kanıtlıyor. Eğer dünya dönüyor olsaydı küre kulenin dibinden uzağa düşerdi.

Öte yandan, Galileo ve Newton da düşen kürenin kendi kuramlarını doğruladığını söyleyecektir. Eylemsizlik ilkesi uyarınca eğer küre bırakıldığı anda doğuya doğru gidiyor ise, düşerken bu hareketine devam edecektir. Küre doğuya doğru kuleyle aynı hızda gidiyor olduğu için de kulenin dibine düşecektir. Aristotelesçi bir filozofun Galileo'yu yalanlamak için kullanabileceği deney Galileo tarafından kendi kuramının doğru olduğunu göstermenin aracı oluyor.

Bu durumda hangi birleştirme önerilerinin doğru, hangilerinin yanlış olduğuna nasıl karar vereceğiz? Belli bir süre sonra, kanıtlar öyle yığılmaya başlar ve bir varsayımın diğerine oranla öylesine daha verimli olduğu gösterilir ki aklı başında kimse tartışmanın sonuçlandığına itiraz etmez. Newton devrimi açısından, nihayetinde dünyanın yıldızlara göre hareket halinde olduğu üzerine yığınla veri vardı. Yine de bu gerçekleşmeden önce Newton yasaları o kadar çok ve değişik durumda doğrulandı ki artık geri dönüş mümkün olamadı.

Her şeye rağmen, bilimsel bir devrim zamanında rakip kuramların her birini destekleyen hepsi de akılcı iddialar kurgulanabilir. Şu anda böyle bir durumdayız ve birbiriyle çelişen değişik birleştirme önerilerini önümüzdeki bölümlerde inceleyeceğiz. Her bir kampın iddialarını açıklamak ve bunu yaparken bilimcilerin neden hâlâ bir söz birliğine varamadıklarını göstermek için elim geleni yapacağım.

Açıkçası, dikkatli olmamız gerekiyor. Bir bakış açısını desteklediği iddia edilen her kanıt sağlam temeller üzerinde durmaz. Bazen, başı dertte olan bir kuramı kurtarmak için icat edilen iddialar sadece bahanelerdir. Geçenlerde Londra'dan Toronto'ya giderken, hava alanının bekleme salonunda heyecanlı bir grup insanla tanışmıştım. Merhaba dediler ve nereden

geldiğimi sordular ve ben onlara bir kozmoloji konferansından döndüğümü söylediğim anda hemen evrim hakkındaki görüşlerimi bilmek istediler. "Ah hayır," diye düşündüm ve onlara doğal seçilimin kuşkuya meydan bırakmayacak şekilde kanıtlandığını belirttim. Söylediklerine göre, bir İncil okulunun mensuplarıydılar ve Afrika'daki bir görevden dönüyorlardı; görevin amacı yaratılışçılığın bazı inanlarını araştırmakmış. Beni tartışmaya çekmeye çalıştıklarında onları kanıtları oldukça iyi bildiğim için kaybetmelerinin kaçınılmaz olduğu hususunda uyardım. "Hayır," diye üstelediler, "her hakikati bilmiyorsunuz." Böylece başladık. Ben, "Ama şu anda yaşamayan birçok hayvan türünün fosillerini bulduğumuzu tabii ki kabul ediyorsunuz," dediğimde, "Hayır!" diye cevap verdiler.

"Ne demek 'hayır'? Dinozorlar ne güne duruyor?"

"Dinozorlar hâlâ yaşıyorlar ve dünyada dolaşıyorlar!"

"Bu gülünç! Nerede?"

"Afrika'da"

"Afrika'da? Afrika'da bir sürü insan var. Dinozorlar da bayağı büyük hayvanlar. Nasıl olmuş da kimse bir tane görmemiş?"

"Balta girmemiş ormanların derinliklerinde."

"Birisi bir tane görmüş olmalı. Gören birisini tanıdığınızı mı söylüyorsunuz?"

"Pigmeler arada sırada bir tane gördüklerini söylüyorlar. Biz baktık ve göremedik, ama ağaçların gövdesinde yerden altı yedi metre yukarıda bıraktıkları izleri gördük."

"İyi, demek devasa hayvanlar olduklarına hemfikiriz. Fosil kayıtları da sürüler halinde gezdiklerini söylüyor. Nasıl oluyor da o pigmeler dışında kimse bunları görmemiş?"

"Bu kolay. Zamanlarının çoğunu mağaralarda kış uykusunda geçiriyorlar."

"Ormanda? Balta girmemiş ormanda mağaralar mı var?"

"Evet, tabii ki, neden olmasın?"

"İçine devasa bir dinozor girecek kadar büyük bir mağara? Eğer bahsettiğiniz mağaralar bu kadar büyükse onları bulmak kolay olmalı; böylece içine bakıp uyuduklarını görebilirdiniz."

"Kış uykusundayken, dinozorlar kendilerini korumak amacıyla kimse içeride olduklarını anlamasın diye mağaranın ağzını toprakla kapatıyorlar."

"Görünmemek için mağaraların ağzını nasıl bu kadar iyi kapatıyorlar? Pençelerini mi kullanıyorlar yoksa burunlarını mı?"

Bu noktada, yaratılışçılar bilmediklerini kabul ettiler. Ama aynı okuldan bazı "İncilci biyologlar" konuştuğumuz anda ormanda dinozorları arıyorlarmış.

"Canlı bir tane bulduğunuzda bana söylemeyi unutmayın," dedim ve yerime döndüm.

Bu karşılaşmayı uydurmadım ve sadece sizleri eğlendirmek amacıyla anlatmıyorum. Bu örnek akılcı bir şekilde düşünmenin her zaman kolay olmadığını gösteriyor. Genelde daha önce hiç görülmemiş şeylerin varlığını iddia eden bir kurama inanmamak akılcı bir yaklaşımdır. Fakat bazen bir şeyin hiç gözükmüyor olması için oldukça iyi sebepler vardır. Nihayetinde, eğer dinozorlar *varsa*, bir yerlerde gizleniyor olmalılar. Eh, neden orası Afrika'nın balta girmemiş ormanlarında olmasın?

Aptalca gelebilir, ama fizikçiler, belirli bazı kuramsal ve matematiksel sonuçlara anlam verebilmek için görünmeyen bir parçacık olarak nötrinoyu icat etmişler ve görünmemesine açıklama getirebilmek içinse etkileşimlerinin son derece zayıf olduğunu varsaymak zorunda kalmışlardı. O özel durumda, bu doğru bir yaklaşımdı ve yıllar sonra yapılan deneylerle de varlıkları ispatlanmış oldu. Gerçekten de etkileşimleri son derece zayıftı.

Görüyoruz ki, bazen iyi bir kuramı çöpe atmamak için daha önce hiç görülmemiş şeyler öngörmek akılcıdır. Bazen icat etmek zorunda kaldığınız varsayımlar doğru çıkar. Böyle duruma özel varsayımlar aracılığıyla, diğer bir fikrin tutarlılığını korumakla kalmaz aynı zamanda yeni olgular da öngörebilirsiniz. Yine de öyle bir sınır vardır ki onu aşınca inanılırlığınız tehlikeye düşmeye başlar. Mağarada yaşayan dinozor fikrinin buna bir örnek oluşturduğunu düşünüyorum. Belli bir fikrin üzerine artık fazla zaman kaybetmemek gerektiğini hangi aşamada anlayacağımız, en başta keyfi bir yargıdır. Akıllı ve iyi eğitilmiş

insanların fikir çatışmasına girdikleri birçok örnek tabii ki vardır. Fakat nihayetinde delillerin öylesine yığıldığı bir an gelir ki samimi düşünen hiç kimse fikir birliğinden kaçmaz.

Böyle bir noktaya erişildiğini anlamanın yollarından biri de eşsizlik kavramıdır. Bilimsel bir devrim esnasında, her biri bilimi diğerleriyle uyumsuz yönlerde ilerletme iddiasında olan birçok birleştirme önerisi rekabet halindedir. Bu normaldir ve bir devrim ortamında, birini diğerlerine tercih etmek için elimizde hiçbir akılcı sebep olmayabilir. Böyle zamanlarda, fikirlerden birisine çok erken gönül vermiş son derece zeki insanlar bile çoğunlukla yanlış çıkarlar.

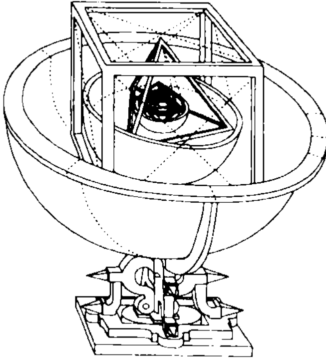
Zamanla bir birleştirme önerisi diğerlerinden çok daha fazla olguyu açıklar hale gelebilir ve bu genelde en basit olanıdır. Tek bir öneri yeni anlayışlar getirme açısından diğerlerinden son derece üstün, deneylerle uyum içinde, açıklayıcı güce ve basitliğe sahip olduğunda, gözümüze eşsiz olarak görünür. Onun içinde doğruluk payı olduğunu söyleriz.

Bunun nasıl gerçekleşebileceğini görmek için, tek bir insan, Alman gökbilimci Johannes Kepler (1571-1630), tarafından önerilmiş üç birleştirme önerisine bakabiliriz. Gezegenler Kepler'in hayatı boyu süren bir takıntısıydı. Dünyanın da bir gezegen olduğuna inandığından, Merkür'den Satürn'e altı tanesini biliyordu. Bunların gökyüzündeki hareketleri binlerce yıldır gözlendiğinden geniş bir veri yığınına ulaşabiliyordu. En kusursuz veriler, Danimarkalı gözlemci Tycho Brahe'nin çalışmaları sonucu elde edilmişti. Nihayetinde Kepler verilere ulaşabilmek için Tycho ile beraber çalışmaya başladı (Tycho öldüğünde verileri çaldı, ama bu başka bir konu).

Her gezegenin yörüngesi belli bir anda güneşe uzaklığı ve hızıyla belirleniyordu. Öte yandan, hızlar sabit değildi; gezegenler yörünge üzerinde hızlanıp yavaşlıyordu. Bütün bu sayılar ilk bakışta keyfi gibi görünüyordu. Kepler hayatı boyunca gezegenlerin hareketlerini birleştirecek ve sonucunda verileri açıklayacak bir ilke bulmaya çalıştı.

İlk denemesinde, Kepler, kadim gelenekler uyarınca kozmolojide sadece en basit şekilleri kullanmaya karar verdi. Yunan-

ların çemberler üzerinde yuvarlanan çemberlere duydukları inancın bir sebebi de çemberin en basit ve onlara göre, en güzel kapalı eğri olmasıdır. Kepler gezegenlerin yörüngelerinin boyutlarını açıklamak için, aynı derecede güzel şekiller aradı ve Şekil 1'de resmedilmiş zarif modeli oluşturdu.



Şekil 1. *Kepler'in düzgün çok yüzlü cisimleri kullanan ilk güneş sistemi kuramı.*

Dünyanın yörüngesinin verili olduğunu kabul edelim. Bu durumda, açıklanması gereken beş sayı vardır: diğer beş gezegenin yörünge yarıçapının dünyanın yörüngesinin yarıçapına oranı. Bunları açıklamak istiyorsak, bize tam olarak beş sayı verecek güzel bir geometrik kurgu gerekir. Ne fazla ne de az. Acaba geometride çözümü tam olarak beş sayı verecek bir problem var mıdır?

Evet. Küp mükemmel bir cisimdir, çünkü her yüzü diğerleriyle aynıdır ve her kenarı diğerleriyle aynı uzunluktadır. Böyle cisimlere düzgün çok yüzlü cisimler denir. Bunlardan kaç adet var? Tam beş adet: küpün –altı yüzlü– yanı sıra, dört yüzlü, sekiz yüzlü, on iki yüzlü ve yirmi yüzlü.

Çok geçmeden Kepler, şaşırtıcı bir keşifte bulundu. Dünyanın yörüngesini bir kürenin üstüne oturtun. Kürenin etrafına bir on iki yüzlü koyun. Bunun etrafına da bir küre sarın. Mars'ın yörüngesi bu kürenin üzerinde olacaktır. Bu kürenin etrafına bir dört yüzlü koyun ve bunun etrafına da başka bir küre sarın. Jüpiter bu kürededir. Jüpiter'in küresi etrafında küp vardır ve

bu küpü saracak kürenin üzerinde de Satürn. Kepler, dünyanın yörüngesinin içine yerleştirilen bir yirmi yüzlüyü Venüs'ün yörünge küresini, bunun içine yerleştirilen bir sekiz yüzlüyü de Merkür'ün yörünge küresini belirlemek için kullandı.

Bu birleşik kuram, daha önce kimsenin yapmadığı bir şekilde, gezegenlerin yörünge yarıçaplarını açıklama iddiasındaydı. Matematiksel olarak güzeldi. Peki neden kimse buna inanmadı. Bütün çekiciliğine rağmen bu kuram yeni şeyler söylemiyordu da ondan. Yeni olguların öngörülmesine izin vermiyordu; yörüngesel hızlar hakkında bile. Bu çok durağan bir fikirdi; birleştiriciydi ama bilimi ilgi çekici alanlara ilerletmiyordu.

Kepler bunun üzerine uzun zaman düşündü. Yörünge yarıçapları açıklandığından geriye sadece hızları birleştirmek kalmıştı. Sonuçta gezegenlerin hareket ettikçe "şarkı" söylediklerini iddia etti; hızlar, notaların frekanslarına bağlı olacak ve bu notalar altı sesli bir harmoni oluşturacaklardı. Buna *kürelerin harmonisi* adını verdi.

Bu fikrin de temelinde kadim bilgiler vardı: Pisagor harmoninin kökeninin rasyonel sayılara bağlı olduğunu keşfetmişti. Yine de bu yaklaşımda ciddi sorunlar vardı. Örneğin eşsiz değildi: her biri birbirinden güzel birçok altı sesli armoni kurulabilirdi. Daha da kötüsü, altıdan fazla gezegen olduğu anlaşılmıştı. Ve Kepler'in çağdaşı olan Galileo, Jüpiter'in etrafında dönen dört adet uydu keşfetmişti. Eğer Kepler'in kuramı doğru ise, yeni keşfedilen bu sisteme de uygulanabilmeliydi. Bu mümkün olmadı.

Kepler, evrenin matematiksel yapısı hakkındaki bu iki denemesinin yanında, bilimi gerçekten ilerleten üç keşifte de bulunmuştu. Tycho'dan çaldığı verileri yıllar boyu inceledikten sonra bugün Kepler yasaları dediğimiz yasaları önermişti. Diğer kuramlarına kıyaslarsak, bu yasalar hiç de güzel değildi ama işe yarıyorlardı. Dahası, bu yasalardan biri, daha önceki yaklaşımlarıyla ulaşamayacağı bir şeyi beceriyor ve yörünge yarıçaplarını hızlarla ilişkilendiriyordu. Kepler'in üç yasası sadece altı gezegenin verileriyle uyuşmakla kalmıyor, Jüpiter'in uyduları üzerine yapılan gözlemlere de uygulanabiliyordu.

Kepler bu yasalara ulaşabildi çünkü Kopernik'in birleştirme fikrini kabul edip bunun mantıksal sonuçlarına ulaşmıştı. Kopernik, güneşin (en azından büyük yaklaşıklıkla) evrenin merkezi olduğunu söylemişti ama onun kuramında gezegenlerin güneş olsa da olmasa da aynı şekilde hareket edeceği varsayılmıştı. Güneş'in tek rolü ortamın ışığın kaynağı olmasıydı. Kopernik'in kuramının başarısı üzerine Kepler güneşin her gezegenin yörüngesinin merkezinde yer almasının rastlantı olup olmadığını sorguladı. Güneşin varlığının yörüngelerin gerçek sebebi olup olmadığı üzerine düşündü. Acaba güneş gezegenlere bir kuvvet uyguluyor olabilir miydi? Bu kuvvet yörüngeleri açıklayabilir miydi?

Bu sorulara cevap verebilmek için, güneşin her yörünge üzerindeki rolü hakkında birleştirici bir fikir bulması gerekiyordu. Yörüngelerin çemberler değil de elipsler olduğunu keşfettiğinde ilk ipucunu bulmuştu. Güneşin kesin bir yeri vardı: her yörüngeyi betimleyen elipsin odak noktalarından biri. İlk yasası bu oldu. Bundan kısa süre sonra ikinci yasasını keşfetmişti. Buna göre bir gezegen güneşe yaklaştığında hızlanıyor uzaklaştığındaysa yavaşlıyordu. Daha sonra üçüncü yasasını buldu; gezegenlerin hızlarını ilişkilendirdi.

Bu yasalar, bütün gezegenlere uygulanabildiğinden, güneş sistemi için geçerli olan derin ve birleştirici bir kavramın varlığına işaret ederler. Onlar sayesinde ilk defa öngörüler yapabilen bir kurama kavuşmuştuk. Diyelim ki yeni bir gezegen keşfedildi. Yörüngesini öngörebilir miyiz? Kepler'den önce bu mümkün değildi, ama Kepler yasaları sayesinde, gezegenin konumunu sadece iki kere gözleyerek, yörüngenin tamamını bulabiliriz.

Bütün bu keşifler sayesinde Newton'ın işi kolaylaşmıştı. Üstün sezgi yeteneğiyle güneşin gezegenler üzerine uyguladığı kuvvetin bizleri dünya üzerinde tutan kütleçekim kuvvetiyle aynı olduğunu görerek, göklerdeki ve yerdeki fiziği birleştirmişti.

Tahmin edilebileceği gibi güneşten kaynaklanan ve gezegenlere uzanan bir etki fikri zamanın birçok bilim insanı için bir saçmalık olarak algılandı. Uzayın boş olduğuna inanıyorlardı; böyle bir etkiyi iletebilecek bir ortamın mevcut olmadığı açıktı.

Dahası bu kuvvet görülemiyordu –güneşten gezegenlere uzanan bir el yoktu– ve görülemeyen hiçbir şey gerçek olamazdı.

Birleştirme meraklıları, bu öyküden önemli dersler çıkarabilirler. Birincisi matematiksel güzellik yanıltıcı olabilir. Verilerden elde edilen basit çıkarımlar çoğunlukla daha önemlidir. Diğer bir ders de şudur: doğru birleştirmeler önerildikleri anda daha önce ayrık olduğu düşünülen bazı olgular hakkında da açıklayıcı olabilirler. Bunun bir örneği Kepler yasalarının Jüpiter ve uydularına uygulanabilmesidir. Doğru birleştirmeler ilk önce saçma gözüken ama daha sonra yeni birleştirmelere yol açabilecek sorular da doğururlar, Kepler'in güneşten gezegenlere etki eden bir kuvvet kavramını kabul etmesi gibi.

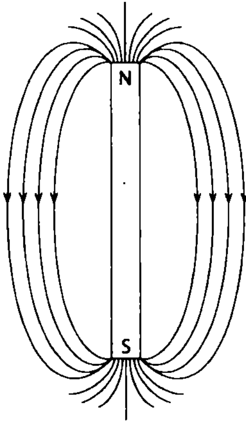
Fakat en önemlisi, gerçek bir devrimin çoğunlukla birçok birleştirme önerisinin bir araya gelerek birbirlerini desteklemesine yol açmasıdır. Newton devriminde aynı anda doğrulukları anlaşılan birçok fikir vardır: Dünyanın ve gezegenlerin birleştirilmesi, güneşin ve yıldızların birleştirilmesi, sabit hızlı hareketler ile hareketsizliğin birleştirilmesi ve dünya üzerindeki kütleçekim kuvvetinin güneşin gezegenler üzerindeki etkisiyle birleştirilmesi. Bu kavramların hiçbiri tek başına başarılı olamazdı ama beraberce bütün rakiplerini elediler. Sonuç doğa hakkındaki anlayışımızı kökünden değiştiren bir devrim oldu.

Fizik tarihinde bir devrim daha vardır ki son otuz yılın birleştirme çabaları için diğer her fikirden daha fazla esin kaynağı olmuştur. Bu devrim elektrik ve manyetik olguların James Clerk Maxwell tarafından 1860'da birleştirilmesidir. Maxwell, Michael Faraday'ın 1840'larda iki cisim arasındaki kuvvetin boş uzayda nasıl iletilebileceği sorusuna yanıt olarak bulduğu alan kavramını kullandı. Bir alan uzayın her noktasında değişik değerler alabilen bir büyüklüktür. Uzayda dolaştığımızda bu alanın değeri sürekli olarak değişir. Öte yandan alanın her noktadaki değeri zaman içinde de değişim gösterir. Kuramın yasaları alanın değerinin uzayda ve zamanda nasıl değiştiğini belirtir. Bu yasalar belli bir noktadaki alan değerinin yakın komşuluktaki alan değerlerine ve aynı noktadaki maddesel bir cismin etkisine bağlı olduğunu söyler. Sonuç olarak bir alan bir

maddesel cisimden bir diğerine kuvvet iletmeye yarar. Uzaktan hayalet etkilere inanmaya gerek kalmaz.

Faraday'ın araştırmış olduğu alanlardan biri elektrik alandır ve vektörle tanımlanan bir büyüklüktür. Bir vektörü belli bir boyda belli bir yöne bakan bir ok olarak düşünebiliriz. Uzayın her noktasında böyle bir ok hayal edelim, komşu oklar birbirlerine lastiklerle bağlı olsun. Eğer birini çekerseniz komşuları bundan etkilenecektir. Elektrik yükler de okların dizilimini değiştirecektir: Oklar uçlarını eksi yüklere sırtlarını da artı yüklere dönerler.

Faraday manyetizma üzerine de çalışmıştır. Bunun için manyetik alan adını verdiği başka tür oklar kullandı. Bu oklar bir mıknatısın kutuplarına doğru yönelirler (Şekil 2'ye bakınız).



Şekil 2. *Kuvvet çizgileri bir çubuk mıknatısın oluşturduğu manyetik alanı izler.*

Faraday, elektrik ve manyetik alanların yakınlardaki yüklerden, mıknatıslardan ve alan oklarından nasıl etkilendiğini belirten basit yasalar önerdi. O ve diğerleri bu yasaların deneylerle uyum içinde olan öngörüleri olduğunu buldular.

O zamanın önemli keşiflerinden biri manyetik ve elektrik alanların etkilerinin karıştığı fenomenlerdi. Örneğin bir çember üzerinde hareket eden bir yük manyetik alanlara yol açıyordu. Maxwell bu keşiflerin manyetik ve elektrik olguların birleştirilmesine işaret ettiğini anladı. Tam bir bileştirme için, denklem-

leri değiştirmesi gerekti. Tek bir terim ekleyerek bunu başardı ve önerisi sonuçları olan bir birleştirmeye dönüştü.

Yeni denklemler, elektrik ve manyetik alanların birbirlerine dönüşmesine izin veriyor, bu dönüşmeler bir noktadaki alanın elektrik ve manyetik alanlar arasında salınmasına yol açıyor ve bu değişimler uzayda dalgalar gibi hareket edebiliyorlardı. Bu tür dalgalar, örneğin bir elektrik yükün ileri geri salınmasıyla oluşturulabiliyor ve bir noktadan diğerine enerji iletebiliyordu.

En şaşırtıcı şey de Maxwell'in bu dalgaların hızını hesaplayıp ışığın hızıyla aynı olduğunu bulmasıydı. O anda fark etmiş olmalıydı. *Elektrik ve manyetik alanların içinden geçen dalgalar ışıktı.* Maxwell ışığın bir kuramını bulmak için yola çıkmamıştı, elektrik ve manyetik olguları birleştirmeye çalışmıştı. Ama bunu yaparken daha da büyük bir sonuca ulaşmıştı. Bu, iyi bir bileştirmenin kuram ve deney için nasıl da beklenmedik sonuçları olabileceğine iyi bir örnek oluşturuyor.

Pek zaman geçmeden yepyeni öngörüler ortaya çıkmaya başladı. Maxwell, elektromanyetik dalgaların bürün frekanslar için var olması gerektiğini gördü ve bunun sonucunda radyo, kızılaltı ve morötesi ışınımlar keşfedildi. Buradan başka bir tarihsel ders çıkarabiliriz: Biri doğru bir birleştirme önerdiğinde bunun sonuçları çabucak ortaya çıkar ve apaçık bir şekilde anlaşılır. Bu yeni olguların birçoğu Maxwell kuramını yayımladıktan sonraki ilk yıllarda keşfedilmiştir.

Bu diğer birleştirme önerilerini tartıştığımızda önem arz edecek bir noktaya parmak basıyor. Bütün kuramların önerdiği neticeler vardır çünkü genellikle birleştirdikleri şeylerin birbirlerine dönüşmesini sağlarlar. İyi durumlarda bu neticeler yakın gelecekte gözlenir ve bu durumda mucitlerinin her türlü kutlamaya hakkı vardır. Ama göreceğiz ki bazı durumlarda öngörülen olgu var olan gözlemlerle zıtlık içerisindedir. Bu şanssız halde, önerinin yandaşları ya kuramlarını terk etmek ya da onu doğal olmayan bir şekilde kısıtlayarak yanlış öngörüyü gizlemek durumunda kalırlar.

Yine de tam bir zafer kazanmış olmasına rağmen, Maxwell'in birleşik kuramı çok önemli bir engelle karşı karşıyaydı. 19. yüz-

yılın ortasında birçok fizikçi fiziğin birleşmiş olduğuna inanıyordu çünkü her şey maddeden oluşmuştu (bu aynı zamanda Newton yasalarının geçerliliği için gerekliydi). Bu "mekanikçiler" için, uzayda dalgalanan bir alan kabul etmesi zor bir kavramdı. Onlar için Maxwell kuramı anlamsızdı, çünkü elektrik ve manyetik alanların arkasındaki esas gerçekliğin eğilip bükülen bir nesne olması gerektiğini düşünüyorlardı: Işık, bir çiçekten gözümüze ulaşırken maddi bir şey titriyor olmalıydı.

Faraday ve Maxwell de mekanikçi olduklarından bu konu üzerinde uzun zaman ve çok çaba harcadılar. Yalnız değillerdi: Saygın kuruluşlarda çalışan genç bilimciler Maxwell denklemlerinin arkasındaki gerçekliği açıklayabilecek mikroskobik çarklar, makaralar ve kayışlardan oluşan karmaşık yapılar kurarak başarılı kariyerlere imza atıyorlardı. Bu yapıları betimleyen girift denklemleri çözenlere ödüller veriliyordu.

Problemin büyük ve apaçık bir tezahürü vardı: Işık bize güneşten ve yıldızlardan ulaşır ama dış uzayda madde yoktur. Eğer maddesel bir ortam ışığın iletimini sağlıyorsa gezegenlerin hareketini etkilemelidir, ki bu yüzden hepsi çoktan güneşe düşmüş olmalıydı. Bu durumda elektrik ve manyetik alanlar boşlukta nasıl var olabilirdi?

Böylelikle mekanikçiler bir tür madde icat ettiler, uzayı bununla doldurdular ve adına esir dediler. Esirin paradoksal özellikleri vardı: Işığın onun içinde gezindiği bir tür ses dalgası gibi davranabilmesi için çok yoğun ve sıkı olmalıydı. Işık hızının ses hızı yanında çok yüksek olması bu inanılmaz yoğunluğa yol açıyordu. Aynı zamanda, esir adi maddenin hareketine hiçbir engel teşkil etmemeliydi. Bunları bağdaştırmak göründüğünden çok daha zordur. Basitçe esir ve maddenin etkileşmediğini kabul edebilirdik, ama ışık esir içinde dolaşan bir dalgaysa madde tarafından nasıl algılanıyordu? Bütün bunlara zekice açıklamalar getirenlere profesörlük payeleri verilmiş olmasına şaşırmamamız gerekir.

Esir kuramından daha iyi bir birleştirme olabilir miydi? Sadece ışık, elektrik ve manyetizma birleştirilmemişti, onların birleştirilmesi de maddeyle birleştirilmişti.

Fakat esir kuramı geliştirilirken, fizikçilerin madde kavramından ne anladıkları da değişmeye başlamıştı. 19. yüzyılın başlarında, birçok fizikçi maddenin sürekli olduğunu düşünüyordu, ama elektronun yüzyılın sonuna doğru keşfiyle maddenin atomsal kuramı en azından bazıları tarafından ciddiye alınmaya başlamıştı. Fakat bu başka bir soruya yol açıyordu: Esir dünyasında elektronları ve atomları nasıl betimleyecektik?

Gözünüzün önüne, bir mıknatısın kuzey kutbundan başlayıp güney kutbuna ilerleyenler gibi alan çizgileri getirin. Bir mıknatısın kutupları dışında alan çizgileri kesinlikle bir noktada başlayıp bir başkasında son bulmazlar; bu Maxwell yasalarından biridir. Yine de bu çizgiler kapalı eğriler oluşturabilir ve kendi üstlerine katlanıp düğümlere yol açabilirler. Belki de atomlar manyetik alanlarda oluşan düğümlerdir.

Bütün gemicilerin iyi bildiği gibi bir düğümü bağlamanın birçok yolu vardır. Bu gözlem önemli olabilir çünkü birçok farklı atom vardır. 1867 yılında Lord Kelvin değişik atomların değişik manyetik alan düğümleriyle açıklanabileceğini önerdi.

Bugünkü bilgimiz ışığında bu saçma gelebilir ama unutmamak gerekir ki o zaman atomlar hakkında çok az şey biliniyordu. Protonlar ve nötronlar bir kenara kimse çekirdekten bile haberdar değildi. Kısacası, zamanının bilgi seviyesi göz önüne alındığında, bu o kadar da çılgın bir fikir sayılmazdı.

O zamanlar düğümler hakkında da çok az şey biliniyordu. Kimse bir düğümün kaç değişik şekilde bağlanabileceğini ya da bunların nasıl ayrıştırılabileceğini bilmiyordu. Matematikçiler bu konuya ilgi duydular ve üzerinde çalışmaya başladılar. Bu uğraş yavaş yavaş bugün *düğüm kuramı* dediğimiz matematik alanına evrildi. Bir düğümün sonsuz değişik şekilde bağlanabileceği çabucak anlaşıldı, ama bunlar arasında ayrım yapabilmeyi öğrenmek uzun zaman aldı. 1980'lerde bazı gelişmeler oldu ama hâlâ iki karmaşık düğümün aynı olup olmadığını bulmanın belirli bir yolu bilinmiyor.

Burada dikkat etmemiz gereken nokta, yanlış olduğu zamanla anlaşılsa bile iyi bir birleştirme fikrinin yepyeni araştırma alanları açabilmesidir. Bu, aynı zamanda matematik için fay-

dalar sağlamanın bir kuramın fizik alanında başarısını garanti etmediğini de örnekliyor. Aksi durumda düğüm kuramı üzerinden atomların manyetik alan düğümleri olduğuna da inanmak zorunda olurduk.

Başka bir problem daha vardı: Maxwell kuramı Newton fiziğinin görelilik kavramıyla çelişki içindeydi. Anlaşılıyordu ki, elektromanyetik alanları inceleyen bir gözlemci hareket edip etmediğini ayrıştırabilecekti.

Bu durum her biri Newton fiziği için merkezi önemde olan iki birleştirme arasında ciddi bir çelişkiye yol açıyordu: Her şeyin Newton yasaları çerçevesinde madde olarak birleştirilmesi ve hareket ile hareketsizliğin birleştirilmesi. Birçok fizikçi için bu ikilemden kurtulmanın yolu apaçıktı: Maddi bir evren fikri her şeyden, hatta belki de kaza eseri birleştirilmiş gözüken durma ve hareket etme kavramlarından da önemliydi. Yine de bazıları görelilik kavramının daha merkezi olduğunu düşünmeye devam ettiler. Bunlardan biri Zürih'te okumakta olan Albert Einstein'dı. Bu bilmece üzerine on altı yaşından başlayarak on yıl kadar düşündü ve nihayetinde, 1905 yılında, çözümün uzay ve zaman hakkındaki anlayışımızın tamamen gözden geçirilmesinden geçtiğini anladı.

Einstein'ın esin kaynağı, Newton ve Galileo'nun hareketin göreliliğini göstermek için başvurdukları yöntemin bir benzeriydi: Elektrik ve manyetik olaylar arasındaki farklılığın gözlemcinin hareketinden kaynaklandığını fark etmişti. Kısacası elektromanyetizma Maxwell'in düşündüğünden bile daha derin bir birleştirme kavramına dayanıyordu. Birleştirme fikri, sadece elektrik ve manyetik olayların tek bir olgunun değişik yüzleri olduğuyla kalmıyor, değişik gözlemcilerin bu iki yüz arasındaki farklılıkları da farklı şekilde betimleyeceğine varıyordu. Örneğin bir gözlemci belirli bir olayı sadece elektrik alanlarla açıklayabilirken ona göre sabit bir hızla hareket eden başka bir gözlemci aynı olayı açıklarken manyetizmaya da ihtiyaç duyabiliyordu. Böylelikle Einstein'ın özel görelilik kuramı doğmuş bulunuyordu; Galileo'nun hareket ve hareketsizliği birleştirmesi ile Maxwell'in elektrik ve manyetik olayları birleştirmesi birleştirilmişti.

Bunun birçok sonucu vardır. Bunlardan biri ışığın, gözlemciden bağımsız, evrensel bir hızı olması gerekliliğidir. Bir diğeriyse uzay ve zaman kavramlarının birleştirilmesidir. Daha önce kesin bir ayrım vardı: Zaman evrenseldi ve her gözlemci iki olayın eşzamanlılığı üzerinde bir fikir birliği içinde olabiliyordu. Einstein gösterdi ki birbirlerine göre hareket eden gözlemciler için değişik yerlerde olan olayların eşzamanlılığı değişmez bir olgu değildir. Bu fikir onun 1905 tarihli ve "Hareketli Cisimlerin Elektrodinamiği" başlıklı makalesinde zımni olarak yer alır, daha sonra 1907'de hocalarından biri olan Hermann Minkowski tarafından açık olarak dile getirilmiştir.

Bu örnek de birbirleriyle rekabet halinde olan iki birleştirme fikrinin öyküsüdür. Mekanikçilerin fiziği birleştirmek için güzel bir fikri vardı: Her şey maddedir. Einstein daha farklı bir birleştirmeye inanıyordu: hareket ve hareketsizlik aynı şeydir. Bunu desteklemek için daha da derin bir birleştirme gerekti: Uzay ve zamanın birleştirilmesi. Her durumda da daha önce kesinlikle değişik olduğu düşünülen iki kavram arasındaki farkların sadece gözlemcilerin bağıl hareketinden kaynaklandığı anlaşıldı.

Nihayetinde bu iki birleştirme önerisi arasındaki tartışma deneysel olarak karara bağlanmıştır. Eğer mekanikçilere inanıyorsanız, bir gözlemcinin kendi hızını esire bağıl olarak ölçebileceğine de inanmanız gerekir. Einstein'a inanıyorsanız bunun imkânsız olacağını bilirsiniz, çünkü bütün gözlemciler eşdeğerdir.

Einstein'ın özel görelilik kuramını önerdiği 1905'ten önce dünyanın esire bağıl hareketini meydana çıkarmak için birçok deney yapılmıştı; bunların hepsi başarısız oldu.[1] Esir kuramının destekçileri kuramı buna göre değiştirmişlerdi, artık kuramın öngörülerine göre bu hareketi gözlemek çok daha zordu.

---

[1] Fikrimi açıkça belirtebilmek için olayların asıl örgüsünü basitleştirdiğimi söylemeliyim. Farklı birçok deney de yapılıyordu: Işığın bir su akıntısı içindeki hareketi ya da bir yıldızın ve dünyanın bağıl hareketinin o yıldızdan gelen ışığa etkisi gibi. Öte yandan problemin çözümü için görelilik ilkesinin benimsenmesi gerektiğine inanan tek kişi de Einstein değildi: Büyük bir Fransız matematikçisi ve fizikçisi olan Henri Poincaré de aynı şekilde düşünüyordu.

Aslında bunu becermek son derece kolaydı çünkü bu fizikçiler hesaplarını Maxwell kuramına göre yapıyorlardı ve bu kuram doğru algılandığında böyle bir hareketin gözlemlenemez olduğunu zaten söylüyordu. Kısacası mekanikçiler uzun zamandır doğru denklemleri kullanıyorlardı ama bu denklemleri kavrayışları yanlıştı.

Einstein'a geri dönersek, bu deneylerden haberdar olup olmadığını bilmiyoruz ama bu sonuçlar ona sadece destek olabilirdi çünkü bağıl hareketin ölçülemezliğine çoktan kanaat getirmişti. Aslında Einstein daha işin başındaydı. Gelecek bölümde göreceğimiz gibi uzay ve zamanın birleştirilmesi gitgide derinleşecekti. Fizikçilerin çoğu özel görelilik kuramını benimsediğinde, Einstein çok daha ileriye yönelmişti bile.

3. GEOMETRİ OLARAK DÜNYA

Yirminci yüzyılın ilk yılları birçok birleştirme önerisinin doğuşuna sahne olmuştur. Bunlardan bazıları başarılı oldu, diğerleriyse unutuldu. Bunların öyküsünü kısaca anlatırsak günümüzdeki birleştirme önerilerinin içinde bulunduğu krizi daha iyi kavrayabiliriz.

Newton'dan Einstein'a kadar tek bir fikir hüküm sürüyordu: *dünya sadece maddeden oluşmuştur*. Elektrik ve manyetizma dahi maddenin bir yüzüydü: esirdeki gerilimlerden oluşuyorlardı. Fakat özel görelilik başarılı olunca bu güzel yapı yıkıldı çünkü eğer bağıl hareket anlamsızsa esir bir kurgudan ibaret olmalıydı.

Birleştirme çabası başka taraflara yönelmeliydi ve aslında gelişebileceği tek açı vardı. Bu açı esir kuramının ters yönüydü: eğer alanlar maddeden oluşmamışlarsa belki de temel olan şey *alanlardı. Bu durumda madde alanlardan oluşmuş olmalıydı.* O sıralarda elektronların ve atomların alanların gerilimlerinden oluştuğuna dair modeller çoktan öne sürülmüştü, yani bu çok büyük bir atılım sayılmazdı.

Bu fikirlerin kolayca taraftar çekmesine karşın hâlâ birçok sorun mevcuttu. Örneğin birbirinden farklı iki alan vardı, kütleçekimsel alan ve elektromanyetik alan. Neden iki yerine tek bir alan yoktu? Tarihin sonuna mı gelinmişti? Birleştirme tutkusu fizikçileri kütleçekimi ve elektromanyetizmayı tek bir olgunun değişik yüzleri olarak açıklamaya yöneltti. Böylelikle bugün *birleşik alan kuramı* dediğimiz nihai kuramın arayışı başlamıştı.

Einstein elektromanyetizmayı özel görelilik kuramına zaten dahil etmiş olduğundan devam etmenin en doğal yolu Newton'ın evrensel kütleçekim kuramını görelilikle uyum içinde olacak şekilde genişletmekti. Bunu başarmak zor olmadı. Sadece bu değil, aynı zamandan bu genişletme bugünün birleşik kuramlarının

temel fikrini de oluşturacak fevkalade bir keşfe yol açtı. 1914'te Finlandiyalı fizikçi Gunnar Nordström evrensel kütleçekim ile elektromanyetizmayı birleştirmek için tek yapılması gerekenin uzaya bir boyut daha eklemek olduğunu fark etti. Elektromanyetik kuramı dört uzay ve bir zaman boyutuna genişlettiğinde kütleçekimin doğal olarak ortaya çıktığını buldu. Sadece bir uzay boyutu ekleyerek, kütleçekim ve elektromanyetizmayı özel görelilik kuramıyla uyum içinde olacak şekilde birleştirmek mümkün olmuştu.

Ama eğer bu gerçekse söz konusu ek boyuta tıpkı gözlenen üç boyuta baktığımız gibi bakamaz mıydık? Eğer bu mümkün olmuyorsa bu kuram apaçık bir şekilde yanlış olmaz mıydı? Bu sorunları gidermek için yeni boyutu bir çember olarak alabiliriz, böylelikle ona baktığımızda başlanan yere geri dönülebilen bir boyut elde ederiz.[1] Öte yandan bu çemberin çapını çok küçük alarak şu ana kadar gözlenmemiş olmasını da açıklayabiliriz. Bir şeyi küçülterek onu görünmez kılmanın nasıl mümkün olduğunu anlamak için ışığın dalgalardan oluştuğunu ve dalga genişliğinin tepeler arasındaki uzaklık olduğunu hatırlayalım. Işınımın dalga boyu onunla görebileceğiniz nesnelerin boyuna bir kısıt getirir; dalga boyundan küçük nesneler fark edilemez. Kısacası birisi görebildiği ışığın dalga boyundan küçük bir beşinci boyutu göremez.

Einstein'ın bu fikre diğer herkesten daha çok önem vermiş olduğunu sanmak mümkün olsa da o (1914 yılında) çoktan bambaşka bir yönde yol alıyordu. Çağdaşlarının aksine Einstein'ın kütleçekim ve göreliliğin birleştirilmesi için yaptığı çalışmalar onu konunun merkezine, Galileo tarafından yüzyıllar önce keşfedilmiş olan hareket ve hareketsizliğin özdeşliği kavramına geri getirmişti. Ancak bu fikir sadece sabit hızlı doğrusal hareketleri birleştiriyordu. Yaklaşık 1907 yılından itibaren Einstein diğer hareketler, örneğin ivmelenen hareketler, hakkında da düşünmeye başladı. Bu hareketlerde hız ve hareketin yönü

[1] Aslında Nordström problemi bu şekilde çözmemişti ama böyle de yapabilirdi. Fazladan boyutların bu şekilde algılanması daha sonraları genel kabul görmüştür ve Nordström'ün çözümüne bir iyileştirmedir.

değişebilir. İvmelenen ve ivmelenmeyen hareketler arasındaki farklılıkları da gidermek gerekmez miydi?

Bu, en başta, hatalı bir adım gibi gözükebilir çünkü sabit hızlı hareketi hissedemeyiz ama ivmenin etkileri apaçıktır. Uçaklar kalkarken koltuğa doğru itildiğimizi hissederiz. Asansör yükselmeye başladığında ivmeyi bizi yere bastıran ek bir kuvvet olarak algılarız.

Einstein tam bu noktada en olağanüstü kavrayışına vardı. Gördü ki, *ivmenin etkileri kütleçekimin etkilerinden ayırt edilemiyordu.* Hareketsiz bir asansörün içinde olduğumuzu düşünelim. Bu durumda bile aşağı doğru bir çekim hissederiz. Asansör yukarı çıkmaya başladığında hissettiğimiz esasen farklı bir olgu değildir: sadece bir derece farkı vardır. Asansörün sabit durduğunu ve kütleçekimin birdenbire artırıldığını kabul edersek bunu daha iyi anlarız. Einstein bu durumda hissedilen kuvvetin asansörün ivmelenmesi durumunda hissedilenle aynı olduğunu fark etti.

Bunun tersini de düşünmemiz mümkündür. Asansörü tutan kablonun koptuğunu ve içindekilerle birlikte düşmeye başladığını varsayalım. Serbest düşüş süresince asansörün içindekiler ağırlıksızlarmış gibi hissedeceklerdir: aynen yörüngedeki astronotlar gibi. Diğer bir deyişle, düşen bir asansörün ivmesi kütleçekimin tüm etkilerini yok etmektedir.

Einstein düşen birinin kütleçekim etkilerini hissetmeyeceğini fark ettiğini anımsadı. Bunu "hayatının en şanslı düşüncesi" olarak adlandırdı ve bundan *eşdeğerlik ilkesi* olarak adlandırdığı ilkeyi çıkardı. Bu ilkeye göre ivmelenmenin etkileri kütleçekimin etkilerinden ayırt edilemez.[2]

Böylelikle Einstein bütün hareket şekillerini birleştirmişti. Sabit hızla doğrusal hareket hareketsizlikten ayırt edilemez. İvmeyse hareketsizlikle aynıdır, tek fark ikinci durumda kütleçekimin var olmasıdır.

---

[2] Burada bir püf nokta var; ilke ancak uzayın küçük bölgeleri ve kısa zaman aralıkları için geçerlidir. Eğer yeterince uzun süre düşer ve çekim gücündeki değişimi fark edebilirseniz, kütleçekimi ve ivmelenmeyi ayrıştırabilirsiniz.

İvmelenmenin kütleçekimle birleştirilmesi çok önemli sonuçları olan bir fikirdir: Kavramsal içeriği tamamen oluşturulmadan önce bile deneysel birçok öngörüye yol açar. Bunlardan bazıları, örneğin deneysel olarak doğrulanmış olan saatlerin kütleçekim etkisiyle yavaşlaması etkisi, lise matematiğiyle bile çıkarılabilecek önermelerdir. Bir diğeriyse ilk olarak 1911'de yine Einstein tarafından bulunmuştur ve ışığın kütleçekim etkisiyle bükülebileceğini öngörür.

Burada da daha önceki birleştirme örneklerinde gördüğümüz gibi aynı anda birden fazla birleştirme gerçekleşmektedir. İki farklı hareket birleştirilmiştir: artık durağan ve ivmelenen hareketler arasında ayrım yapmaya gerek yoktur. Bunun yanı sıra, ivmenin etkileri kütleçekim etkileriyle birleştirilmiştir.

Einstein, eşdeğerlik ilkesiyle birkaç önemli öngörüde bulunmuş olsa da bu ilke henüz bütünsel bir kuram değildi. Nihai kuramın oluşturulması hayatının en zor uğraşı oldu ve yaklaşık on yıl sürdü. Bunun sebebini irdelemek için "kütleçekim ışığı büker" önermesinin ne demek olduğunu anlamaya çalışalım. Einstein'ın bu fikrinden önce uzayda var olan şeylerin ve uzayın kendisinin apayrı unsurlar olduğu düşünülürdü.

Uzayın kendine has özellikleri olabilen bir varlık olduğuna alışık sayılmayız, ama işin aslı böyledir. Uzayın üç boyutu ve aynı zamanda da belirli bir geometrisi olduğunu okulda öğreniriz. Bu, uzayın kendi özelliklerini çalışan ve Öklit tarafından iki bin yıl kadar önce belitleri ve temelleriyle oluşturulmuş Öklit geometrisidir. Öklit geometrisinin teoremleri bize uzaya çizilen çizgilere, çemberlere ve üçgenlere ne olacağını söyler. Bu teoremler her şey için, maddi ya da kurgusal, geçerlidir.

Maxwell'in elektromanyetik kuramına göre ışık demetleri düz çizgiler üzerinde yol alırlar. Böylelikle uzayın geometrisini çizerken ışık demetlerinden bahsetmek oldukça anlamlıdır. Bu yaklaşımı esas alırsak Einstein'ın kuramının önemli sonuçlarını daha iyi algılarız. Işık demetleri kütleçekim alanıyla bükülüyorsa ve bu alan maddenin varlığıyla bağlantılıysa buradan çıkarılabilecek en doğal sonuç maddenin uzayın geometrisini etkiliyor olduğudur.

Öklit geometrisinde, eğer iki düz çizgi bir yerde birbirlerine paralelse hiçbir yerde kesişemez. Ama gerçek dünyada iki paralel ışık demeti kesişebilir, çünkü örneğin bir yıldızın yakınından geçtiklerinde birbirlerine doğru bükülmüş olacaklardır. Demek ki Öklitçi geometri gerçek dünyada geçerli olamaz. Öte yandan uzayın geometrisi sürekli değişiyor olmalıdır çünkü madde sürekli hareket halindedir. Uzayın geometrisi sonsuz ve düz bir yüzeyin, bir düzlemin geometrisiyle aynı değildir. Daha çok, üzerindeki dalgalar ve titreşimlerle okyanusun inanılmaz derece hareketli yüzeyine benzer.

Böylelikle uzayın geometrisinin bambaşka bir alan olduğunu anlamış bulunuyoruz. Gerçekten de uzayın geometrisi kütleçekimle neredeyse aynı şeydir. Bunu anlamak için, Einstein'ın özel görelilik kuramında önerdiği kısmi birleştirmeyi hatırlayalım. Bu birleştirmede, uzay ve zaman adına uzayzaman dediğimiz dört boyutlu bir unsurdur. Bunun aşağıda gösterdiğimiz kesin anlamda Öklit geometrisine benzer bir geometrisi vardır.

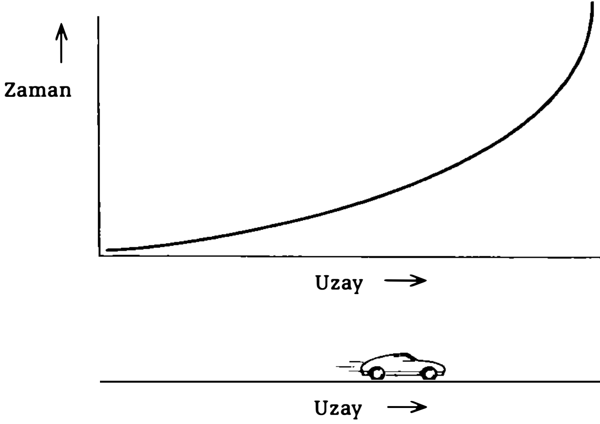
Uzayda düz bir çizgi olsun ve bunun üzerinde iki parçacık düşünelim. Bunlardan biri sabit bir hızla diğeriyse sabit ivmeyle hareket ediyor olsun. Sadece uzaydan bahsettiğimizde bu parçacıklar aynı yol üzerindedirler, *ama uzayzaman içinde farklı yollarda hareket ederler.* Sabit hızla giden parçacık sadece uzayda değil uzayzamanda da düz bir çizgi üzerinde hareket eder. İvmelenen parçacıksa uzayzamanda eğri bir yol izler (Şekil 3).

Sonuç olarak tıpkı uzayın geometrisinin düz bir çizgiyle eğri bir yolu ayrıştırabilmesi gibi, uzayzamanın geometrisi de sabit hızla giden bir parçacığı ivmelenen bir parçacıktan ayrıştırabilir.

Ama Einstein'ın eşdeğerlik ilkesi bize küçük bölgelerde kütleçekimin etkilerinin ivmelenme etkilerinden ayırt edilemediğini söyler.[3] Buradan şunu çıkarabiliriz: uzayzamanın geometrisi hangi yolların ivmelenip hangilerinin ivmelenmediğini ayrıştı-

[3] Konunun uzmanları burada daha kesin bir kavram olan eylemsizliğin kullanılmasını tercih edebilirler. Fakat bunun amatör okurların kafasını karıştırdığını fark ettim.

rarak kütleçekimin etkilerini belirler. Bu açıdan baktığımızda uzayzamanın geometrisi kütleçekim alanıyla aynı şeydir.



Şekil 3. *Uzayda düz bir çizgi üzerinde yavaşlayan bir araba uzayzamanda eğri bir yol üzerinde hareket eder.*

Böylelikle eşdeğerlik ilkesiyle gerçekleştirilen ikili birleştirme üçlü bir birleştirmeye dönüşür: Kütleçekim etkileri göz önüne alındığında bütün hareketler eşdeğerdir, kütleçekim ivmelenmeden ayrıştırılamaz ve kütleçekim alanı uzayzamanın geometrisiyle aynı birleştirilmiştir. Bütün ayrıntılar yerine oturulduğunda bu kavramlardan Einstein'ın *genel görelilik kuramına* varırız; ilk defa 1915'te yayımlanmıştır.

En başta akademik bir iş bulamamış biri için hiç de fena değil.

Böylelikle, 1916 itibariyle fiziğin geleceği için iki değişik öneriden bahsedebiliriz, bunların ikisi de kütleçekimi fiziğin geri kalanıyla birleştirmeyi öneriyordu: Gizlenmiş bir beşinci boyut aracılığıyla elektromanyetizma ve kütleçekimin birleştirilmesini sağlayan Nordström'ün önerisi ve Einstein'ın genel görelilik kuramı. İkisi de tutarlı kuramlardı ve ikisi de beklenmedik bir şekilde zarifti.

Fakat ikisi birden doğru olamazdı ve bir seçim yapmak zorunluydu. Şansımıza, kuramların farklı sonuçlar öngöreceği bir

deney kurgulamak mümkündü. Einstein'ın genel görelilik kuramında ışık demetleri kütleçekimden etkileniyor ve bükülüyordu ve bu etkiyi kesin olarak hesaplamak mümkündü. Nordström'ün kuramındaysa böyle bir etki yoktu: Işık demetleri her zaman düz çizgiler üzerinde hareket ediyordu, nokta.

1919 yılında, büyük İngiliz astrofizikçi Arthur Eddington'ın liderliğinde Afrika'nın batı kıyısı açıklarındaki bir adada yapılan deneyde kütleçekimin ışık demetlerini büktüğü doğrulandı. Bu etki bir tam güneş tutulması esnasında gerçekleştirildi. Tutulma süresince güneşin arkasında kalan bazı yıldızlar güneşin kenarının az dışında görüldü. Eğer güneş bu yıldızlardan gelen ışık demetlerini bükmüş olmasaydı görülmeleri imkânsız olurdu. Ama görülmüşlerdi işte. Böylelikle derin farklılıklar içeren iki birleştirme önerisi arasında ayrım yapmak, olası tek yöntem aracılığıyla gerçekleşebilmişti: Deneysel olarak.

Bu önemli bir örnektir, çünkü bize sadece düşünceyle nereye kadar gidebileceğimizi gösteriyor. Bazı fizikçilere göre genel görelilik saf aklın doğru yolu gösterebildiğine bir örnek oluşturur. Ama gerçek hikâye bunun tam tersidir. Deneysel bir ayrıştırmanın bulunamadığı bir durumda büyük olasılıkla birçok fizikçi Nordström'ün fikrinden yana olacaktı; fikir daha basitti ve fazladan boyut kavramı gibi oldukça güçlü bir yenilik içeriyordu.

Einstein'ın uzayzamanın geometrisi ile kütleçekimi birleştirmesi doğa algımızda derin değişikliklere işaret ediyordu. Einstein'dan önce uzayın ve zamanın yapısının değişmez ve ebedi olduğu düşünülüyordu: Uzayın geometrisi her zaman Öklit'in betimlediği gibi olacaktı. Zaman diğer her şeyden bağımsız olarak akıp gidiyordu. Şeyler uzay üzerinde hareket edip zaman içinde evriliyorlardı, ama uzay ve zaman değişmezdi.

Newton için, uzay ve zaman mutlak bir ardalan oluşturuyordu. Üzerinde büyük bir oyunun gerçekleştiği sabit bir sahne gibiydiler. Uzayın ve zamanın geometrisi örneğin parçacıkların yeri ve hareketi gibi şeylerin değişimine anlam yüklemek için gerekliydi, ama bu geometri değişmezdi. Sabit ve mutlak bir sahne gerektiren bu tip kuramlara *ardalana bağımlı* kuramlar diyoruz.

Einstein'ın genel görelilik kuramı tamamen farklıdır. Sabit bir ardalan yoktur. Uzayın ve zamanın geometrisi doğadaki diğer her şey gibi, evrilir ve değişir. Değişik geometriler değişik evrenlerin değişik tarihlerini betimler. Artık elimizde sabit bir ardalan geometrisi üzerinde tanımlanan alanlar yoktur. Bunların yerine birbirleriyle etkileşen, hepsi hareket halinde ve hepsi dinamik olan, her biri diğerlerini etkileyen alanlar vardır. Bu alanlardan biri de uzayzamanın geometrisidir. Böyle bir kurama *ardalandan bağımsız* kuram diyoruz.

Bu iki tür kuram arasındaki farka dikkatinizi çekmek isterim. Bu kitapta anlatılmaya çalışılan öykü bu farkın öyküsüdür.

Einstein'ın genel görelilik kuramı, başarılı bir birleştirmenin sağlaması gereken ve bir önceki bölümde bahsettiğimiz bütün şartları eksiksiz sağlamaktadır. Birleştirmenin sonucunda derin kavramsal sonuçlar vardır. Bunlar çabucak, evrenin genişlemesi, kütleçekim dalgaları, büyük patlama, kara delikler gibi yepyeni öngörülere yol açmıştır. Bütün bu olgular için deneysel kanıtlar mevcuttur. Kozmoloji kavramımız tamamen tepetaklak olmuştur. Daha öncelere köktenci değişimler olarak adlandırılabilecek ışığın madde tarafından bükülmesi gibi olgular şimdilerde evrendeki madde dağılımını ölçmek için kullanılır oldular. Öngörülerinin ayrıntılı deneylere tabi tutulduğu her durumda kuram güzel bir şekilde doğrulanmıştır.[4]

Yine de genel görelilik bir başlangıçtı. Einstein kuramının son halini yayımlamadan önce bile o ve diğerleri değişik birleştirme önerileri üzerine çalışıyorlardı. Bunların ortak noktası basit bir fikre dayanıyordu: Eğer kütleçekim uzayzamanın geometrisi olarak anlaşılabiliyorsa bu neden aynı zamanda elektromanyetizma için de geçerli olmasın? Einstein 1915 yılında, o zaman yaşayan belki de en büyük matematikçi olan Hilbert'e şöyle yazmıştı, "Elektromanyetizma ile kütleçekim arasında bir köprü oluşturabilmek için zihnime çok yüklendim."[5]

---

4 Kara madde ve kara enerji bu doğrulanmaların dışında tutulmalıdır.

5 Alıntı, Hubert F.M. Goenner, *On the History of Unified Theories (1914-1933)*, s. 30. relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2004-2/index.html (2004).

Bu birleştirme üzerine gerçekten iyi bir yaklaşımın doğması için 1918 yılına kadar beklemek gerekti. Matematikçi Hermann Weyl tarafından icat edilen bu kuram daha sonra parçacık fiziğinin standart modeli için de merkezi önem oluşturacak çok güzel bir matematiksel fikre dayanıyordu. Yine de bu yaklaşım başarısız oldu çünkü Weyl'ın düşündüğü şekliyle kuramın deneylerle uyuşmayan öngörüleri vardı. Bunlardan biri bir nesnenin boyunun uzayzamanda aldığı yola bağlı olacağı çıkarımıydı. İki ölçüm çubuğu alıp bunları ayırıp sonra yeniden bir araya getirerek karşılaştırdığımızda uzunluklarının genelde farklı olacağını öngörüyordu. Bu özel görelilikten çok daha köktenci bir öngörüydü: Özel görelilikte özdeş çubuklar bağıl hareket halinde farklı uzunluklara sahipmiş gibi gözükebilir ama bu hiçbir zaman göreli hareketin yokluğunda gözlenmez. Açıkça bu öngörüler doğa üzerindeki deneyimlerimizle örtüşmüyor.

Einstein Weyl'ın kuramına inanmadı, ama onu beğendi. Weyl'a şöyle yazmıştı "Gerçeklikle uyuşmazlığı dışında bu her açıdan mükemmel bir entelektüel çalışma."[6] Weyl'ın cevabındaysa matematiksel güzelliğin gücünü görüyoruz, "Kuramı reddiniz benim için sıkıntılı, ... Ama beynim ona inanmaya hâlâ devam ediyor."[7]

Kurdukları güzel kuramın çekiciliğine kapılanlarla kuramın gerçeklikle olan bağını sorgulayan daha temkinli zihinlerin sürtüşmesine öykümüzün ilerleyen kısımlarında diğer birleştirme önerileri üzerinden de tanık olacağız. Bu durumlar hakkında hüküm vermenin kolay bir yolu yoktur çünkü bir kuram hem olağanüstü güzel hem bilimin gelişmesi için faydalı hem de aynı zamanda bütünüyle yanlış olabilir.

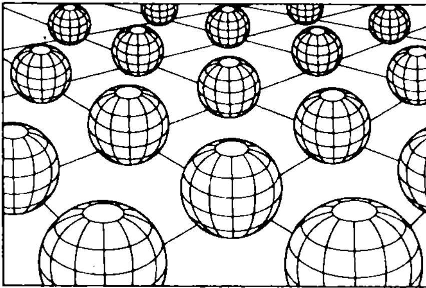
Kuramının yanlış olmasına rağmen Weyl'ın icat etmiş olduğu kavram modern birleştirme yaklaşımlarının merkezi fikrini oluşturuyordu. Bu fikir sicim kuramının da temelidir. O, "Bütün fiziksel olayların matematiksel olarak son derece basit tek bir evren yasası üzerine temellendirilebileceğine inanacak kadar

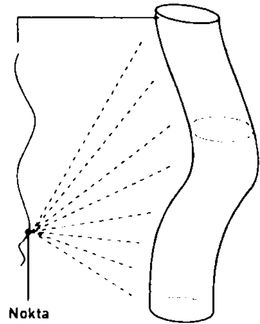
6 *Age.*, s. 38-39.
7 *Age.*, s. 39.

cesurum"[8] diyen ilk kişiydi ama böyle düşünen sonuncu kişi de olmadı.

Weyl'ın çalışmasından bir yıl sonra, Theodor Kaluza adında Alman bir fizikçi, Nordström'ün fikrini dirilterek elektromanyetizma ve kütleçekimi birleştirecek yepyeni bir yol buldu. Yine de bir değişiklik yapmıştı. Nordström kütleçekimi, elektromanyetizma yasalarını beş boyutlu (dört uzay ve bir zaman) bir dünyaya genişleterek elde etmişti. Kaluza ise bunun tersini yaptı: Einstein'ın genel görelilik kuramını beş boyutlu bir dünyaya uyarladı ve elektromanyetizmayı elde etti.

Bu yeni uzayı bilinen üç boyutun her noktasına tutturulmuş ufak çemberler aracılığıyla görselleştirebiliriz (Şekil 4). Bu yeni geometri yeni şekillerde bükülebilir, çünkü küçük çemberler değişik noktalara değişik şekillerde iliştirilebilir. Bunun sonucunda da uzayın üç boyutlu kısmına göre ölçülebilecek yeni büyüklükler oluşur. Bu büyüklükler tam da elektrik ve manyetik alanlara benzemektedir.





Şekil 4. Kaluza-Klein kuramındaki kendi üstüne kapanmış fazladan boyutlar. Solda: Üç boyutlu uzayın her noktasına iliştirilmiş küreler. Uzayın toplam boyutu beştir. Sağda: Bir boyutlu bir uzaya iliştirilmiş çemberler. Uzaktan uzay bir boyutlu görünür, ancak yakından incelendiğinde iki boyutlu olduğu anlaşılabilir.

Olağanüstü bir yan ürünse elektron yükünün çemberin yarıçapına bağlı olmasıdır. Bu çok da şaşırtıcı olmamalı: eğer elekt-

---

8 *Age.*, s. 35.

rik alanlar geometrik nesneler olacaklarsa elektrik yükü de öyle olmalıdır.

Sadece bu değil. Genel görelilik uzayzamanın geometrisinin dinamiğini Einstein denklemleri olarak adlandırdığımız denklemler aracılığıyla belirler. Bunları yazmadan da temel noktaya parmak basabiliriz: Bu denklemler aynı şekilde bahsettiğimiz beş boyutlu dünyaya da uygulanabilirler. Tek bir şart koşmamız yeterli olacaktır: Bu denklemler dört boyutta bildiğimiz elektromanyetizma ve kütleçekim denklemlerini içermelidir. Sonuç olarak eğer kuram doğruysa, elektromanyetik alan sadece beşinci boyutun geometrisi için başka bir isimdir.

Kaluza'nın fikri 1920'li yıllarda İsveçli fizikçi Oskar Klein tarafından tekrar keşfedilip genişletildi. Kuramları gerçekten de hem güzel hem de çekici bir yapıdır. Kütleçekim ve elektromanyetizma tek bir hamlede birleştirilmiş, Maxwell denklemleri Einstein denklemlerinden elde edilebilmiştir. Bütün bunlar için uzayzamana tek bir boyut eklemek yeterli olmuştur.

Bu sefer Einstein büyülenmişti. Nisan 1919'da Kaluza'ya şöyle yazmıştı, "Birleşik bir kurama beşinci boyut aracılığıyla erişme fikri aklıma hiç gelmemişti... Fikrinizi ilk bakışta çok çok beğendim."[9] İlerleyen yıllarda Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz'e yazdığı bir mektupta coşkunlukla şunları söylüyordu, "Görülüyor ki kütleçekim ve Maxwell kuramlarının başarılı bir birleştirmesine beşinci boyut fikriyle ulaşılmıştır."[10] Ünlü bir fizikçi olan George Uhlenbeck ise, Klein'ın fikrini ilk olarak 1926 yılında duyduğunda "Aşırı bir sevinç hissettim! Dünyayı anlamak artık mümkündü;"[11] diye düşündüğünü hatırlıyor.

Ne yazık ki Einstein ve diğer taraftarlar yanılıyorlardı. Nordström'ün kuramında da olduğu gibi fazladan boyut yardımıyla erişilen birleştirme işlemiyordu. Bunun neden böyle olduğunu anlamak önemlidir.

---

9 Abraham Pais, *Subtle is the Lord* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1982), s. 330.

10 *Age.*, s. 332.

11 *Age.*, s. 332.

Daha önce de belirtmiş olduğun gibi, önerilen bir birleştirmenin başarılı olması için deneylerle doğrulanabilecek öngörülerde bulunması gerekir. Başarılı birleştirmeler farklı farklı keşiflere yol açan yepyeni bir farkındalıklar silsilesi de oluştururlar. Bazılarına çekici gelmiş olsa da Kaluza-Klein kuramı bunların hiçbirini beceremedi. Bunun sebebi çok basitti: Kuram fazladan bir boyutun varlığını öngörüyordu ama bu boyut gözlenemeyecek bir şekilde kendi üzerine kapanmış durumdaydı, çemberin yarıçapı çok küçüktü. Sadece bunla kalsa iyiydi ama elektromanyetizmayı elde edebilmek için çemberin yarıçapı sabit de olmalıydı, ne zamanda ne de uzayda değişimine izin veriliyordu.

Bu özellik kuramın doğrudan başarısız olmasına yol açacak yumuşak karnıydı. Çünkü çemberin yarıçapını dondurmak Einstein'ın genel görelilik kuramının temel özelliğine, geometrinin dinamikliğine ters düşüyordu. Eğer uzayzamana yeni bir boyut eklersek ve genel göreliliği kabul edersek yeni boyutun da dinamik olmasını kabul etmemiz gerekir. Bu dinamiğin sonucunda da çemberin yarıçapı değişken olmalıdır. Bu durumdaysa Kaluza-Klein kuramının sonsuz sayıda değişik çözümleri olacaktır. Bunun son derece güzel sonuçları olabilirdi, çünkü böylelikle kütleçekimsel ve elektromanyetik etkiler birbirlerine dönüşebilirdi. Aynı zamanda elektrik yükün zamanla değiştiği süreçlere yol açabilirdi.

Öte yandan eğer Kaluza-Klein kuramı doğru bir birleştirmeyse, beşinci boyut diğerlerinden farklı ele alınmamalıdır: küçük çemberler sabitlenmemelidir. Kuramın öngördüğü süreçler elektromanyetizma ve geometrinin birleşmesinin sonuçları olmalıdır. Eğer bu süreçler gözlemlenseydi, geometri, kütleçekim, elektrik ve manyetizmanın tek bir olgunun değişik yüzleri olduğunu söyleyebilirdik. Fakat böyle etkiler hiç gözlemlenmedi.

Bu, kuramcıların, öngörülerini hemen kutlamaya başlayabilecekleri bir duruma örnek teşkil etmiyor. Bunun yerine birleştirmenin sonuçlarını, olası çözümlerin sadece sonsuz küçük bir bölümünü, çemberin boyunun dondurulduğu halleri çalışarak gizliyorlar.

Durum aslında daha da kötü, çünkü kuramın bu tür çözümleri kararlı da değil. Geometriyi azıcık değiştirin, çemberler çabucak küçülerek sıfır boy tekilliğine erişiyor ve zamanın sonunu getiriyorlar. Geometriyi başka bir şekilde azıcık oynatın, beşinci boyut hemen büyüyerek görünür hale geliyor ve kuramı yerle bir ediyor. Sonuç itibariyle, kuramın öngörülerini gizlemek gerekiyor çünkü gerçekle hiçbir ilintileri yok.

Bu noktada Einstein bile coşkusunu yitirmişti. Arkadaşı Paul Ehrenfest'e şöyle diyordu, "Dört boyutlu bir sürekliyi beş boyutlu bir sürekliyle değiştirip sonra da gözlenmemiş olmasını açıklamak için bunlardan birini yapay olarak bağlamak doğal değil."[12]

Bu kadarı yetmiyormuş gibi kuramı reddetmenin başka sebepleri de ortaya çıkmıştı. 1930'lu yıllara gelindiğinde insanlar dünyada elektromanyetizma ve kütleçekim dışında da kuvvetler olduğunu biliyorlardı. Yeğin ve zayıf çekirdek kuvvetleri keşfedilmişti ve bunları, birleştirmenin dışında bırakmak için bir sebep yoktu. Ama kimse de bunları birleşik kuramlar içine dahil etmenin yolunu bilmiyordu. Yine de birleşik alan kuramı üzerine araştırmalara Einstein önderliğinde devam edildi. Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger ve Weyl gibi zamanın en büyük fizikçileri ve matematikçileri, bu mücadeleye katkıda bulundular. Kütleçekim ve eletromanyetizmayı birleştirmek için geometriyi değiştirmenin farklı farklı yollarını buldular. Bunlar derin matematiksel anlayışlara dayanıyordu ama nihayetinde kısır kaldılar, çünkü ya yeni öngörülerde bulunamıyor ya da görülmemiş olgular içeriyorlardı. 1940'lara gelindiğinde Einstein ve onunla beraber birleşik alan kuramı üzerine çalışan birkaç kişi alay konusu olmuştu.

1979'da doktora derecemi aldıktan sonra girdiğim ilk iş Princeton'daki İleri Araştırma Merkezindeydi. İşi kabul etmemdeki temel sebeplerden biri yaklaşık yirmi yıl önce ölmüş olan Einstein'ın yaşayan bir mirasçısıyla tanışmaktı. Bu benim için karşılanmamış bir istek olarak kaldı. Kütüphanedeki büstü dı-

---

[12] *Age.*, s. 334.

şında onun zamanlarından geriye hiçbir iz kalmamış gibiydi. Einstein'ın ne bir öğrencisine ne de onu izleyen birine rastlamak mümkündü. Sadece, kuramsal fizikçi Freeman Dyson gibi, onu tanımış birkaç kişi hâlâ oradaydı.

Oradaki ilk haftamda son derece nazik biri olan Dyson gelip beni öğle yemeğine davet etti. İşim hakkında konuştuktan sonra kendimi Princeton'da daha rahat hissetmem için bir şeyler yapıp yapamayacağını sordu. Tek bir isteğim vardı. "Einstein'ın gerçekten nasıl biri olduğunu bana söyler misiniz?" diye sordum. Dyson, "Üzgünüm ama bu, hakkında yardım edemeyeceğim tek şey" diye cevapladı. Şaşırmış bir halde üsteledim, "Ama siz buraya 1947'de gelmiştiniz ve 1955'te Einstein ölene kadar onun meslektaşıydınız."

Dyson bana onun da Einstein'la tanışma umuduyla enstitüye gelmiş olduğunu anlattı. Einstein'ın sekreteri Helen Dukas'a bir randevu almak için gitmiş. Görüşmeden önceki gün bu büyük adamla konuşacak bir şeyi olmadığını fark etmiş ve Bayan Dukas'tan Einstein'ın son bilimsel çalışmalarının kopyalarını almış. Bunlar Einstein'ın birleşik kuram üzerine çabalarından ibaretmiş. Gece onları okuduktan sonra, Dyson, hepsinin çöpten ibaret olduğuna karar vermiş.

Ertesi sabah Einstein'la görüşüp işinin saçmalık olduğunu söylemeyeceğini ama öte yandan Einstein'la görüşüp işinin saçmalık olduğunu söylememezlik de yapamayacağını fark etmiş. Böylelikle görüşmeye gitmemiş ve arkasından sekiz yıl boyunca ölümüne kadar Einstein'dan uzak durmuş.

Sadece aşikâr bir şey söyleyebildim: "Sizce Einstein kendini savunup size araştırmasının saiklerini açıklayamaz mıydı?"

Dyson, "Şüphesiz ki," diye cevapladı. "Ama bu fikir aklıma gelene kadar çoktan yaşlanmıştım."

Einstein'ın ve diğer birleşik alan kuramcılarının önündeki problemlerden biri (parçacık fizikçilerinin alaylarını bir kenara bırakırsak) bu tür yaklaşımların aslında oldukça kolay kurgulanabilmesiydi. Zor bulunmaları ne kelime, bu kuramların bini bir paraydı. Onlara varmanın birçok değişik yolu vardı ve bunlar arasında seçim yapmanın anlamlı bir yolu yoktu. On-

larca yıllık araştırmanın sadece bir anlamlı sonucu olmuştu: çekirdek kuvvetlerini birleştirmenin bir yolu bulunmuştu. Anlaşılmıştı ki bu birleştirme için yine fazladan boyutlar eklemek yeterliydi. Zayıf ve yeğin çekirdek kuvvetleri genel göreliği bir çok fazla boyutta yazdığınızda kendiliğinden ortaya çıkıyordu. Bu yöntem Kaluza'nın elektromanyetizma için yaptığıyla birçok benzerlik içeriyordu: Fazladan boyutların geometrisini dondurmak, geometrinin ne uzayda ne de zamanda değişmemesini sağlamak ve gözlenmemiş olduklarını açıklamak için de çok küçük olmalarını kabul etmek yetiyordu. Bütün bunlar doğru şekilde yapıldığında, gerekli denklemler (bunlara Yang-Mills denklemleri diyoruz) genel göreliliği fazladan boyutlara uyguladığımızda ortaya çıkıyordu.

Yang-Mills denklemlerinin genel göreliliğin yüksek boyutlu genelleştirmelerinden çıkıyor olduğu 1950'li yıllarda artık biliniyordu, ama gerçek anlamları ancak 1970'lerde, insanlar bu alanların zayıf ve yeğin çekirdek kuvvetlerini betimlediğini fark ettiğinde anlaşılmıştı. Bu bağlantı yapıldığında, Kaluza-Klein yaklaşımını diriltmek için birkaç yeni çaba gösterilmiş olsa da verimli olmadılar. Aynı zamanlarda bilinen bir simetrinin, sağ ve sol arasındaki denkliğin, doğada var olmadığı da anlaşılmıştı. Kesin olarak söylemek gerekirse, bilinen bütün nötrinolar sol-ellidir; yani burgu* yönelimleri her zaman gidim yönünün tersinedir. Bu, eğer dünyaya bir aynadan bakarsak, yanlış bir dünya –içinde nötrinoların sağ-elli olduğu bir dünya– göreceğiz demektir. Kısacası aynada gözüken dünya mümkün bir dünya değildir. Bu bakışım eksikliği, Kaluza-Klein tipi yaklaşımlar için açıklaması zor bir olgudur.

Bütün bunlardan öte, yüksek boyutlu kuramlar hâlâ yeni öngörülerde bulunabilmiş değildi. İstediğimiz fiziği elde etmek için yüksek boyutlara koyulan şartlar aynı zamandan kuramın mahvına yol açıyordu. Gerçekten de fazladan boyutların sayısı arttıkça onların geometrisini dondurmanın bedeli daha da ağır olur. Daha fazla boyut daha fazla serbestlik derecesi, yani ku-

* İngilizce "helicity" kelimesinin karşılığı olarak –çn.

ramın üç boyutlu dünyamızın fiziğini oluşturması için istenen sabit geometriden sapması için daha fazla olasılık demektir. Kararsızlık sorunu gitgide artar.

Aynı zamanda, fazladan boyutların sayısı arttıkça, bunları bükmenin yolları da gitgide artar. Bir fazla boyutun sadece çemberle kapanabiliyor olmasının aksine, birden fazla boyutu bükmenin sonsuz değişik yolu vardır. Kısacası kuramın sonsuz değişik hali vardır. Doğa bunlar arasında nasıl seçim yapacaktır?

Fiziği fazladan boyutlar aracılığıyla birleştirme çabasının tarihinde aynı öyküye defalarca rastlayabiliriz. Gözlediğimiz dünyayla uyumlu az sayıda çözüm vardır, ama bunlar dünyamızla hiçbir yakınlığı olmayan geniş bir çözüm denizinde kararsız ve küçük adacıklar gibidir. Bu diğer çözümleri dışarıda bırakmak için gerekli şartları koyduğumuzdaysa birleştirmenin önerebileceği daha önce hiç gözlenmemiş ama deneysel olarak doğrulanabilecek hiçbir yeni öngörü kalmaz. Yani kutlanacak hiçbir şey yoktur ve gizlenecek çok şey vardır.

Bütün bunlardan daha temel bir sorunsa birleşik kuramların kuantum kuramıyla olan ilişkisindedir. Birleşik kuramlar üzerine ilk çalışmalar kuantum kuramının 1926'da tam olarak kurulmasından önce yapılmıştır. Hatta kuantum kuramının kurucularından bazıları ek boyutların kuantum kuramıyla alakası üzerine ilgi çekici spekülasyonlarda bulunmuşlardı. Ama kabaca 1930 yılından sonra bir ayrışma oluştu. Fizikçilerin çoğu birleştirme sorununu bir kenara bırakıp kuantum fiziğini örneğin malzemelerin özellikleri ve yıldızlarda enerji oluşturan süreçler gibi çok çeşitli problemlere uygulamaya başladılar. Aynı zamanda birleşik kuram üzerinde çalışanlarsa kuantum kuramını gitgide daha fazla ihmal ettiler. Bu insanlar (Einstein da dahil olmak üzere) sanki Planck, Bohr, Heisenberg ve Schrödinger hiç var olmamış gibi davrandılar. Kuantum devriminden sonraki zaman diliminde yaşıyorlardı ama bu devrimin hiç gerçekleşmemiş olduğu zihinsel bir evrendeymiş gibi araştırma yaptılar. Çağdaşları için, 1920'li ve 1930'lu yıllarda Paris'e veya New York'a göç etmiş ama sanki hâlâ Çarlık Rusyası'nın St. Petersburg'unda yaşıyormuş gibi

cafcaflı alışkanlıklarına devam eden garip Rus aristokratları na benziyorlardı.

Şüphesiz ki Einstein sadece kayıp bir dünyadan gelen yıldızı sönmüş aydın bir göçmen değildi; kayıp bir dünyadan gelen göçmen bir aydın olsa da. Kuantum kuramını yok saydığını biliyordu, ama bunun için bir sebebi vardı: Kurama inanmıyordu. Fotonun gerçekliğini göstererek kuantum devrimini başlatmış olmasına rağmen bu devrimin sonuçlarını reddetti. Kabul edebileceği daha derinlikli bir kuramın peşindeydi ve birleşik kuramın böyle bir derinliği olacağını umuyordu.

Böyle olmadı. Kuantum kuramı etrafından dolanma hayali de Einstein'la beraber kayboldu. Öldüğünde ona saygı duyanlar azdı ve onu izleyenlerse daha az. O zamanın fizikçileri birleşik bir kuram gibi hayal ürünü fikirlerin peşinde koşmaktan daha önemli işleri olduğunu düşünüyorlardı. Çok çalışıp, bulunan birçok parçacığı listelemek ve yeni keşfedilmiş iki kuvveti açıklayabilecek kuramlar üstünde duruyorlardı. Dünyanın kendi üzerine kapanmış fazladan ufacık boyutlardan oluştuğu üzerine düşünmek onlar için UFO'ları çalışmak kadar verimsiz ve delice bir çabaydı. Bu fikirler deneyle sınanabilecek yeni öngörülerde bulunmuyordu ve kuramın deneyle el ele yürüdüğü bir dönemde de bunlara ilgi duymak için bir sebep yoktu.

Bir an için bütün bu engelleri yok sayalım ve gerçekten de birleşik kuram fikrini ciddiye almak istediğimizi kabul edelim. Bu kuramları kuantum diliyle kurgulamanın bir yolunu bulabilir miydik? Cevap açık bir şekilde olumsuzdur. O sıralar kimse genel göreliliği bile kuantum kuramıyla bağdaştırmanın yolunu bilmiyordu. Buna yönelik bütün çabalar başarısızlıkla sonuçlanmıştı. Fazladan boyutlar eklediğinizde ya da geometriye ek olanaklar tanıdığınızda işler her zaman daha kötüye gider, daha iyiye değil. Ne kadar fazla ek boyut varsa denklemler o kadar kontrolden çıkar ve sürüyle tutarsızlığa ve sonsuzluklara yol açar.

Kısacası, fazladan boyutlar kullanarak birleşik bir kuram türetme fikri ne kadar çekici olursa olsun nihayetinde terk edildi. Ve bunun önemli bir sebebi vardı. Kuram sınanabilir ön-

görülerde bulunamıyordu. Böyle kuramlar bildiğimiz dünyayı açıklayabilecek özel çözümlere sahip olsa da, istemediğimiz çok daha fazla durumu da içeriyorlardı. Az sayıdaki istenen çözümse kararlı değildi ve çabucak tekilliklere yol açıp dünyamıza hiç benzemeyen şekillere bürünüyorlardı. Son olarak bunları kuantum kuramıyla bağdaştırmanın bir yolu yoktu. Bu sebepleri akılda tutmanızı öneririm çünkü sicim kuramı gibi yeni birleştirme önerilerinin başarısı bu problemleri çözüp çözememeye bağlı olacaktır.

1970'lerde fizik üzerine çalışmalarıma başladığımda, kütleçekimi diğer güçlerle birleştirme fikri, maddenin sürekli olduğu fikri kadar ölüydü. Bir zamanların büyük düşünürlerinin akılsızlıkları üzerine bir ders gibiydi. Ernst Mach atomlara inanmıyordu, James Clerk Maxwell esire inanıyordu ve Albert Einstein birleşik bir kuramın peşinde koşmuştu. Hayat zor.

4. BİRLEŞTİRME BİR BİLİME DÖNÜŞÜYOR

Bütün kuvvetleri birleştirmek için fazladan boyutlar icat etme yaklaşımı başarısız olduktan sonra, kuramsal fizikçilerin çoğu kütleçekimi diğer kuvvetlerle bir araya getirme çabasından vazgeçti. Kütleçekim diğer kuvvetlerden çok daha zayıf olduğu için bu pek de anlamsız bir karar sayılmazdı. Dikkatlerini deneycilerin hızlandırıcılarda keşfetmeye başladığı çok sayıda yeni parçacığa yönelttiler. Verileri bu parçacıkların bazılarını birleşik olarak anlamak üzere ilkeler aramak için kullandılar.

Kütleçekimi ihmal etmek geriye doğru bir adım, Einstein'ın genel görelilik kuramından önceki uzay ve zaman anlayışına dönüş olarak algılanabilir. Uzun vadede bu tehlikeli bir karardı, çünkü çoktan aşılmış kavramlarla çalışmak anlamına geliyordu. Ama bunun avantajlı yönleri de vardı; sorunu oldukça basitleştiriyordu. Genel görelilikten alabileceğimiz en temel ders sabit bir ardalan geometrisinin olmamasıydı ve bunu ihmal etmek bir ardalan seçmek anlamına geliyordu. Bu bizi alanların ve parçacıkların sabit ve ebedi bir uzayzaman sahnesinde rol aldığı Newtoncı yaklaşıma geri götürdü. Kütleçekim ihmal edilerek geliştirilen kuramlar ardalana bağlı kuramlardır.

Yine de tam anlamıyla Newton'a kadar geri dönmek gerekmiyordu. Kuramlar pekâlâ Einstein'ın 1905'te kurgulamış olduğu özel görelilik bağlamında kurgulanabilirdi. Özel göreliliğe göre, uzayın geometrisi çoğumuzun lisede çalışmış olduğu Öklit geometrisidir, ama Einstein'ın iki varsayımını, ışık hızının sabitliğini ve gözlemcilerin göreliliğini, sağlamak için zaman uzayla karışmış olmak durumundadır. Bu kuram kütleçekimi içermez ama Maxwell'in elektrik ve manyetik alanlar kuramı için doğru altyapıyı oluşturur.

Kuantum mekaniği bir bütün olarak oluşturulduktan sonra, kuantum kuramcıları dikkatlerini elektromantetizmayı kuan-

tum kuramıyla birleştirmeye yönelttiler. Elektromanyetizmanın yapıtaşları alanlar olduğu için bu birleştirme nihayetinde kuantum alan kuramı olarak adlandırıldı. Einstein'ın özel görelilik kuramı elektromanyetizma için doğru yaklaşım olduğundan bu kuramlar aynı zamanda kuantum kuramını özel görelilikle birleştiren kuramlar olarak da görülebilir.

Bu çaba, parçacıkların kuantum kuramını oluşturmaktan daha zor oldu çünkü alanlar uzayın her noktasında ayrı değerler alabilirler. Uzayın sürekli olduğunu kabul edersek, ki özel görelilik bunu söyler, o zaman elimizde sürekli bir sonsuzluk sayısında değişken olmalıdır. Kuantum kuramında her değişken bir belirsizlik ilkesine uymak zorundadır. Bunun sonuçlarından biri şudur; bir değişkeni ne kadar hassas ölçmeye kalkarsak değişkenin değerinde o kadar geniş dalgalanmalara yol açarız. Kontrolsüz bir şekilde dalgalanabilecek sonsuz sayıda değişken çok çabuk anlamsızlaşabilir. Kurama sorular sorduğunuzda sonsuzluklar içermeyen ve tutarlı cevaplar almak için çok dikkatli olmanız gerekir.

Daha işin başında kuantum kuramcıları elektromanyetik dalgaların her birine karşılık gelen *foton* olarak adlandırılmış bir kuantum parçacığı olduğunu biliyorlardı. Bu parçacıkların kuramını ayrıntılarıyla çalışmak sadece birkaç yıl aldı ama sonuçta erişilen kuram fotonların serbest bir şekilde hareket ettikleri bir kuram oldu; bir sonraki adım elektron ve proton gibi yüklü parçacıkları kurama dahil ederek bunların fotonlarla nasıl etkileştiklerini bulmak olacaktı. Amaç tutarlı bir bütünselliğe sahip kuantum eletrodinamiğine (QED) ulaşmaktı. Bu çok daha zor oldu. QED ilk önce Japon fizikçi Sin-Itiro Tomonaga tarafından II. Dünya Savaşı sırasında çözülmüştü ama bunun haberi dünyanın geri kalanına yaklaşık 1948'den önce ulaşmadı. O zamana kadar QED birbirinden bağımsız çalışan ve ikisi de genç birer Amerikalı olan Richard Feynman ve Julian Schwinger tarafından ayrı ayrı oluşturulmuştu.

QED iyice anlaşıldığında, amaç kuantum alan kuramını zayıf ve yeğin çekirdek kuvvetlerine uygulamaktı. Bu yaklaşık yirmi beş yıl sürdü ve iki yeni ilkenin keşfine yol açtı. Bu ilkelerden

ilki elektromanyetizma ve çekirdek kuvvetlerinin arasındaki ortak noktayı tanımlıyordu. Buna *ayar ilkesi* diyoruz ve ilerde göreceğimiz üzere kütleçekim dışındaki kuvvetlerin birleştirilmesini sağlıyor. İkinci ilkeyse birleştirilmelerine rağmen bu kuvvetlerin neden bu kadar farklı davrandığını açıklıyor. Buna *kendiliğinden simetri kırılması* denir. Bu iki ilke beraberce parçacık fiziğinin standart modelinin köşe taşını oluştururlar. Ama bu ilkelerin kesin tanımlarını yapmak için önce proton ve nötronların temel parçacıklar olmadığının, tersine kuarklardan oluşmuş olduklarını keşfetmek gerekiyordu.

Proton ve nötronun her ikisi de üçer kuarktan oluşur. Öte yandan mezon denilen diğer parçacıkların içindeyse iki kuark (daha kesin bir ifadeyle bir kuark ve bir karşı-kuark) bulunur. Bu buluş 1960'lı yılların başlarında, birbirlerinden bağımsız olarak Caltech'teki Murray Gell-Mann ve Cenevre'deki CERN* laboratuvarında çalışan George Zweig tarafından yapılmıştır. Bundan kısa bir süre sonra SLAC'de† bulunan James Bjorken ve Caltech fizikçisi Richard Feynman, protonun ve nötronun kuarklardan yapılmış olup olmadığını gösterebilecek deneyler önerdiler. Bu deneyler daha sonra SLAC'de gerçekleştirildi ve protonların ve nötronların her birinde üç kuark olduğu doğrulandı.

Kuarkların keşfi çok önemli bir gelişmeydi çünkü deneyler sonucu sayıları gitgide artan parçacıkların birbirleriyle olan etkileşmeleri çok karmaşık gözüküyordu. Fizikçilerin umudu, kuarkların kendi aralarındaki etkileşmelerin aslında basit olduğu, gözlenen karmaşıklığın esas sebebinin proton ve nötronların temel değil bileşik sistemler olduğu fikriyle açıklanabileceğiydi. Bu kavramın faydalı olduğunun örneklerine daha önceleri de rastlamıştık: Moleküller arasındaki etkileşmeler son derece karmaşık olmasına rağmen, onları oluşturan atomların fiziği elektromanyetizma aracılığıyla kolayca anlaşılabiliyordu.

---

* Conseil Europeèn de la Recherce Nucléer: Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi –çn.

† Standord Linear Accelerator Center: Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi –çn.

Bunun sonucunda fizikçiler protonlar ve nötronlar arasındaki kuvvetler üzerinde çalışmayı bırakıp kuarklar arasındaki kuvvetleri anlamaya çalıştılar. Bu indirgemeci –parçaları yöneten ilkelerin bütünü yöneten ilkelerden daha basit olduğunu kabul etmek– yaklaşımla, elektromanyetizmayla yeğin ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin ortak noktasını anlamak mümkün oldu. Üçü de, basit ve güçlü bir fikir olan ayar ilkesinin sonucudur.

Ayar ilkesini anlamanın en iyi yolu fizikçilerin simetri olarak adlandırdığı bir kavramdan geçer. Basitçe söylemek istersek, simetri bir nesneye uygulanan ve onu dış dünyaya göre değiştirmeyen bir etkidir. Örneğin bir küreyi çevirirseniz onu değiştiremezsiniz, hâlâ bir küredir. Fizikçiler simetriden bahsettiklerinde, döndürmeler gibi uzaya etki eden ve deneylerin sonucunu değiştirmeyecek unsurları kastediyor olabilirler. Ama yine deneylerin sonucunu değiştirmeyecek herhangi bir etkiden de bahsediyor olabilirler. Örneğin kedileri iki gruba –doğu yakası kedileri ve batı yakası kedileri gibi– ayırıp onların zıplama yeteneklerini ölçtüğünüzü düşünelim. Ortalama olarak bu iki grup arasında bir fark yoksa, kedilerin zıplama yeteneğinin doğu ve batı yakası kedilerini değiştiren bir etki altında bir simetriye sahip olduğunu çıkarırız.

Kavramı daha belirgin kılmak için basitleştirilmiş ve idealize edilmiş şu örneğe de bakalım. Protonların hızlandırılarak belirli bazı çekirdek tipleri içeren bir hedefe fırlatıldıklarını düşünelim. Bir deneyci olarak, protonların çekirdeklerle çarpıştıktan sonra oluşturdukları saçılım örgüsüne bakarız. Şimdi protonları nötronlarla değiştirelim ama başka bir değişiklik yapmayalım. Bazı durumlarda saçılım örgüsü hiç değişmez. Deneyin sonucu protonların nötronlarla değiştirilmesi durumunda farklılık göstermemektedir. Diğer bir deyişle, protonları nötronlarla değiştirme işlemi onların ve hedefteki çekirdeklerin arasındaki kuvvetlerin bir simetrisidir.

Simetrilerin farkında olmak iyi bir şeydir çünkü bize söz konusu kuvvetler hakkında bilgi verirler. İlk örneğimizden kütleçekimin kediler üzerindeki etkisinin nereli olduklarına bağlı olmadığını çıkarırız; ikincisindense bazı çekirdek kuvvetlerinin

proton ve nötronlar arasındaki farktan etkilenmediklerini görürüz. Bazen simetrilerin bize sağladığı şey sadece böyle küçük bilgilerden ibarettir. Bazı özel durumlardaysa kuvvetler simetriler tarafından tamamen belirlenir: *Ayar kuvvetleri* en ince ayrıntısına kadar ayar ilkesi tarafından belirlenir. Sizleri sıkmamak için bunun tam olarak nasıl çalıştığını anlatmayacağım zaten buna ihtiyacımız da olmayacak.[1] Ama şunu söyleyebiliriz: Belirli bir kuvvetin bütün ayrıntılarının sistemin simetrilerinden çıkarılabiliyor olması 20. yüzyıl fiziğinin en büyük keşiflerinden biridir. Ayar ilkesi dediğimizde tam olarak bunu kastederiz.[2]

Ayar ilkesi hakkında iki şey bilmemiz gerekiyor. Ayar ilkesinden türetilen kuvvetler, *ayar bozonları* denilen parçacıklar aracılığıyla iletilir ve eletromanyetizma ile yeğin ve zayıf çekirdek kuvvetleri ayar kuvvetleridir. Elektromanyetik kuvveti ileten bozona foton, kuarkları bir arada tutan kuvvetten sorumlu bozonlara *gluonlar* ve zayıf etkileşmeleri iletenlereyse basitçe *zayıf bozonlar* diyoruz.

Ayar ilkesi, Üçüncü Bölümde bahsettiğimiz ve Herman Weyl tarafından 1918'de kütleçekimi elektromanyetizmayla birleştirmek için önerilmiş fakat başarısız olmuş o "güzel matematiksel fikirden" başka bir şey değildir. Weyl fizik denklemleri üzerine düşünmüş en derinlikli matematikçilerden biridir ve Maxwell kuramının yapısının bir ayar kuvveti aracılığıyla açıklanabile-

---

1 Ayar simetrileri hakkında daha fazla bilgi almak isteyen okurlar 1997 yılında çıkmış olan kitabımın 4. Bölümünü inceleyebilirler; *The Life of the Cosmos* (New York: Oxford Üniversitesi Yayınları). [*Evrenin Yaşamı*, çev: Ömür Akyüz, Alfa Bilim, 2013]

2 Bazı okurlarımız ayar ilkesinin nasıl işlediğini merak ediyor olabilir. Anahtar fikir şu: Genelde bir simetriyi tanımlayan işlemler bahsi geçen sistemin bütününe etki ederler. Bir nesnenin döndürmeler altında simetrik olduğunu göstermek için bütün nesneyi beraber döndürmek gerekir. Bir topun sadece bir kısmını döndüremezsiniz. Ama bazı durumlarda simetriler bir sistemin bir parçası için de geçerli olur. Bu tür simetrilere *yerel* simetriler denir. Akla aykırı gibi duran bir olgu bu; nasıl mümkün olabiliyor? İşte matematik kullanmadan göstermesi zor olan kısım burada: yerel bir simetri sistemin bazı parçaları birbirleriyle özel şekillerde etkileşiyorsa bu mümkün oluyor. Bu etkileşmelere ayar kuvvetleri diyoruz.

ceğini ilk fark eden o olmuştur. 1950'lerde bazıları ayar ilkesinin başka kuramlara yol açıp açamayacağı üzerine düşünmeye başladılar. Nihayetinde bunu yapmak için tek gereken şeyin, kuramı temel parçacıkların simetrileri üzerine oturtmak olduğunu fark ettiler. Bu kuramlar onları ilk keşfeden iki kişinin şerefine Yang-Mills kuramları olarak anılırlar.[3] En başlarda kimse bu yeni kuramların ne işe yarayabileceğini bilmiyordu. Kuramların yol açtığı kuvvetler tıpkı eletromanyetizma gibi sonsuz etki uzaklığına sahip kuvvetlerdi. Fizikçiler bilinen iki çekirdek kuvvetinin sonlu bir uzaklıkta etkili olduğunu biliyorlardı. Bu durumdaysa bu kuvvetlerin bir ayar kuramından türetilebilmeleri mümkün gözükmüyordu.

Kuramsal fiziği bir bilim olmanın yanında bir sanat olarak da görmemize olanak sağlayan şey en iyi kuramcıların nelerin ihmal edilebileceği hakkında güçlü bir altıncı hisse sahip olmasıdır. Böylece 1960'ların başında Niels Bohr Enstitüsünde bir doktora sonrası araştırmacı olan Sheldon Glashow, zayıf kuvvetin gerçekten de bir ayar kuramıyla açıklanabileceğini ve henüz bilinmeyen bir mekanizmanın kuvvetin menzilini kısıtladığını önerdi. Bu menzil sorunu çözülebilirse elektromanyetizmayı zayıf çekirdek kuvvetiyle birleştirmek mümkün olacaktı. Yine de böyle bir yaklaşımın genel sorunundan kaçmak mümkün değildi: Elektromanyetizmayla zayıf ve güçlü etkileşmeler gibi kendilerini ortaya son derece farklı olgularla koyan kuvvetleri birleştirmek nasıl mümkün olabilirdi?

Bu neredeyse her birleştirme denemesinin başına dert olan bir sorundur. Birleştirmek istediğiniz olgular çok farklıdır; zaten eğer böyle olmasaydı birleştirmede şaşırtıcı bir yön bulunmazdı. Kısacası, gizlenmiş bir birliktelik keşfedilse bile olguların neden ve nasıl farklı gözükebildiğini açıklamadan tam bir anlayışa kavuşulduğundan bahsedilemez.

---

[3] Bunun tarihi de benim anlattığım özetten biraz daha farklı. Yang-Mills kuramları ilk olarak 1920'lerde yüksek boyutlu birleşik kuramlar bağlamında keşfedilmişti ama sonradan unutuldular. 1950'li yıllarda Chen Ning Yang, Robert Mills ve diğerleri tarafından tekrar keşfedildiler.

Daha önce gördüğümüz gibi Einstein, genel ve özel görelilik arasındaki bu tip bir bağdaşmazlığı harika bir şekilde çözmüştür. Anlamıştı ki fenomenler arasındaki farklılıklar onlara içkin değil onları bir gözlemcinin bakış açısına göre açıklama zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Einstein, elektrik ve manyetizma, hareket ve hareketsizlik, kütleçekim ve ivmelenme kavramlarının hepsini bu yolla birleştirmişti. O zaman, gözlemcilerin bahsettikleri farklılıklar önemsizdir çünkü bunlar sadece gözlemcilerin değişik bakış açılarından kaynaklanır.

1960'larda bu genel soruna değişik bir çözüm önerilmişti: Birleştirilmiş olgular arasındaki farklılıklar beklenmedik bir durum oluşturur ama bunun sebebi gözlemcilerin değişik bakış açıları değildir. Bunun yerine fizikçiler ilk bakışta çok basit olarak algılanabilecek bir keşifte bulunmuşlardı: Yasaların sahip olduğu simetrilerin bazıları bu yasaların uygulandığı bir sistemde tam olarak gerçekleşmiyor olabilirdi.

Bunu toplumsal yasalarımız üzerinden açıklamama izin verin. Yasalarımız herkese eşit olarak uygulanır. Bunu yasaların bir simetrisi olarak görebiliriz. Bir insan yerine bir başkasını koyun, uyması gereken yasalar değişmeyecektir. Herkes vergi vermelidir, herkes hız sınırlarına uymalıdır. Fakat yasalar karşısındaki bu eşitlik koşullarımızın aynı olmasını gerektirmez. Bazılarımız diğerlerinden daha varlıklıdır. Hepimizin arabası yoktur ve arabası olanların içinde hız sınırını aşma yatkınlığı farklılıklar gösterir.

Dahası, ideal bir toplumda herkes hayata eşit olanaklarla başlar. Ne yazık ki gerçek bir toplumda böyle değildir, ama böyle olsaydı başlangıç şartlarındaki bir simetriden bahsedebilirdik. Hayatımız ilerledikçe bu simetri kaybolur. Yirmi yaşına geldiğimizdeyse hepimizin değişik olanakları vardır. İçimizden az sayıda bazısı konser piyanisti, diğer bazılarıysa olimpik atletler olur.

Bu farklılaşmayı baştaki eşitliğin zamanla kaybolduğunu söyleyerek tanımlayabiliriz. Böyle bir eşitliğin bir simetri olduğundan bahseden bir fizikçi bu simetrinin hayat süresinde karşılaştığımız durumlar ve aldığımız kararlar tarafından kı-

rıldığından bahsedecektir. Bazı durumlarda bu kırılmanın nasıl olacağını öngörmek zor olabilir. Kırılacağını biliyor olsak bile bir klinikte yeni doğmuş bebeklerle dolu bir odaya baktığımızda bunun nasıl olacağını kestiremeyiz. Simetrilerdeki bu tür kırılmalara fizikçiler *kendiliğinden kırılma* adını verirler. Bununla anlatılmak istenilen, simetrinin kırılacağının bilinmesi ama bunun nasıl gerçekleşeceğinin neredeyse hiç kestirilemez olmasıdır. Kendiliğinden simetri kırılması parçacık fiziğinin üzerine oturduğu ikinci büyük ilkedir.

İnsan hayatından başka bir örnek de şudur. Öğretim üyesi olarak bazen yeni lisans öğrencileri için verilen partilere giderim. Onları seyrederken fark ettim ki, gelecek yıllarda bazıları arkadaş, bazıları sevgili olacak hatta bazıları evlenecekler. Birbirleri için yabancılardan ibaret olduklarından ilk karşılaşmalarında odada çok yüksek bir simetri vardır; bu gruptan birçok değişik arkadaşlıklar ve bağlar kurgulanabilir. Yine de bu yüksek simetri kırılmak zorundadır çünkü değişik seçimler ve insan davranışları olası bütün ilişkileri kapsayamaz. Bu durumda da kendiliğinden simetri kırılmasından bahsedebiliriz.

Dünyada bulunan sosyal ya da fiziksel yapıların birçoğu olanaklar uzayındaki simetrinin kırılması gerektiği koşutundan oluşur. Bu koşutun önemli bir özelliğiyse simetri ve kararlılık arasındaki ilişkidir. Yüksek simetriye sahip bir durum –odadaki her öğrencinin olası arkadaşlar ya da eşler oluşturması durumu– kararlı olmayabilir. Gerçek dünyada kararlar almamız gerekir ve bu da sistemdeki kararlılığı artırır. Kararsız bir olanaklar özgürlüğünü, kararlı gerçeklik deneyimleriyle değiş tokuş ederiz.

Fizikte de böyle olur. Çok kullanılan örneklerden biri yazma ucu üzerinde dengede duran bir kalemdir. Durum yüksek simetriye sahiptir; kalemin ucu üzerinde hangi yönde durduğu önemsizdir. Ama bu durum kararsızdır. Kalem düştüğünde, ki mutlaka düşecektir, kararlı bir dengeye ulaşır fakat bu durum artık simetrik olamaz. Sistemin uyduğu yasalar bahsi geçen simetriye uygun olsalar bile bu böyle olabilir. Yasalar sadece olası seçenekler uzayını tanımlar, bu yasalar tarafından yönetilen gerçek dünyaysa bu olasılıklardan birini seçmek durumundadır.

Bu tür bir mekanizma, doğadaki parçacıklar arasındaki simetriler için de işlemiş olabilir; kuvvetler arasındaki ayar ilkesiyle kurgulanmış bir simetriye etki ettiğinde farklılıklara yol açabilir. Kuvvetler ayrıştırılmış olur; artık değişik şiddetleri ve menzilleri olabilir. Simetri kırılmadan önce dört temel kuvvetin hepsinin tıpkı elektromanyetizma gibi sonsuz etki menzili vardır, sonrasındaysa iki çekirdek kuvveti için gözlenmiş olduğu üzere bazılarının sonlu menzilleri olabilir. Bu kavram 20. yüzyıl fiziğinin en önemli keşiflerinden biridir çünkü ayar ilkesiyle beraber farklı görünen temel kuvvetleri birleştirmeye olanak verir.

Kendiliğinden simetri kırılmasını ayar kuramlarıyla beraber kullanma fikri Brüksel'de 1962 yılında François Englert ve Robert Brout tarafından icat edilmiştir. Birkaç ay sonra Edinburgh Üniversitesinden Peter Higgs de bağımsız olarak aynı sonuca ulaşmıştır. Aslında bu fikir EBH fenomeni olarak adlandırılmalıydı ama sadece Higgs fenomeni olarak anılır. (Bu örnekte de görüldüğü gibi, çoğunlukla bilimde bir olgu onu keşfeden ilk insanın adıyla değil son keşfeden insanın adıyla anılır.) Bu üçlü aynı zamanda bu kırılmanın sonucunda bir parçacık oluşması gerektiğini de bulmuşlardı. Bu parçacığa da Higgs bozonu diyoruz.

Birkaç yıl sonra, 1967'de, Steven Weinberg ve Pakistanlı fizikçi Abdus Salam birbirlerinden bağımsız olarak, ayar ilkesi ve kendiliğinden simetri kırılmasını beraberce kullanarak elekromanyetik ve çekirdek kuvvetlerini birleştiren somut bir kurama vardılar. Kuram onların adıyla anılır: *Elektrozayıf* kuvvetlerin Weinberg-Salam modeli. Bu gerçekten de kutlanabilecek sonuçları olan bir modeldi; kısa zaman zarfında başarılı bir şekilde doğrulanmış yeni olgular öngörmüştü. Örneğin çekirdek kuvvetlerini iletmekle yükümlü olan ve fotona benzeyen parçacıklar öngörüyordu. Bunlardan üç adet vardı, W^+, W^- ve Z. Bunların üçü de tam da öngörülen özelliklere sahip olacak şekilde keşfedildiler.

Kendiliğinden simetri kırılması fikrini temel bir kuram içinde kullanmanın derin sonuçları vardır; sadece doğa yasaları için değil, doğa yasası kavramının ne olduğu sorusu için

de. Bundan önce temel parçacıkların özelliklerinin ebedi yasalar aracılığıyla dolaysız olarak tanımlandığına inanılırdı. Ama kendiliğinden simetri kırılması içeren bir kuramda yepyeni bir kavram vardır: Temel parçacıkların özellikleri sistemin geçmişine ve çevresel etkilere kısmen de olsa bağlı olabilir. Yoğunluk ve sıcaklık gibi etmenlere bağlı olarak simetriler farklı şekillerde kırılabilir. Daha genel olarak, temel parçacıkların özelikleri sadece kuramın denklemlerine değil bu denklemlerin hangi çözümlerinin evrenimizde vücut bulduğuna bağlıdır.

Bu, temel parçacıkların özelliklerinin ebedi olduğu ve mutlak bir yasayla tanımlandığını söyleyen bilindik indirgemecilikten farklıdır. Temel parçacıkların bazı –hatta bütün– özelliklerinin değişken ve evrendeki bölgemizde ve günümüzde yasaların hangi çözümlerinin hayat bulduğuna bağlı olabileceğini söyler. Değişik bölgelerde değişik çözümler vücuda gelebilir.[4] Hatta zaman içinde bir değişimden de bahsedilebilir.

Kendiliğinden simetri kırılmasında, simetrinin nasıl kırıldığını belirleyen fiziksel bir büyüklük vardır. Bu büyüklük genellikle bir alandır ve Higgs alanı olarak adlandırılır. Weinberg-Salam modeli Higgs alanının ve bu alandan kaynaklanan kuvveti iletmekten sorumlu, temel bir parçacık olan, Higgs bozonunun varlığını şart koşar. Elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerin birleştirilmesinin bütün öngörüleri içinde deneysel olarak gözlemlenememiş unsur sadece Higgs bozonudur. Buna bir sebep olarak, kuramın Higgs bozonunun kütlesi hakkında kesin bir öngörüde bulunamamasını gösterebiliriz; bu kütle kuramın içindeki serbest parametreden biridir. Higgs bozonunu bulmak için birçok deney tasarlandı ama şu anda bildiğimiz tek şey bu parçacık gerçekten varsa kütlesinin yaklaşık 120 proton kütlesinden daha fazla olması gerektiğidir. Gelecekteki hızlandırıcı deneylerinin temel amaçlarından biri Higss bozonunu keşfetmektir.*

---

4 *The Life of the Cosmos* adlı kitabımın temel teması bu tür değişikliklerdi. [Lee Smolin, *Evrenin Yaşamı*, çev: Ömür Akyüz, Alfa Bilim, 2013.]

* Higgs bozonu 2012 yılında CERN'de ATLAS ve CMS deneylerinde keşfedildi. Kütlesi 125 GeV olarak ölçüldü –yn.

1970'li yılların başında, ayar ilkesi yeğin çekirdek kuvvetine de uygulanmış ve kuarkları bir arada tutan kuvvetin de bir ayar alanından oluştuğu bulunmuştur. Bu kurama *kuantum kromodinamiği* ya da kısaca QCD* denir. (Yunanca renk anlamına gelen *kromo* kelimesi bütün kuarkların üç tipe ayrılabileceğine ve bu farklılığın renk olarak adlandırılmasına bir göndermedir.) QCD kuramı da birçok deneysel sınamadan başarıyla çıkmıştır. Weinberg-Salam modeliyle birlikte temel parçacıkların standart modelinin temelini oluşturur.

Üç kuvvetin her birinin tek bir ilkenin –ayar ilkesinin– değişik şekilleri olduğunun keşfi kuramsal fiziğin şu ana kadar gerçekleştirdiği en derinlikli ilerlemedir. Bunu hayata geçirenler fiziğin gerçek kahramanlarıdır. Standart model, on yıllar boyunca süren ve çoğun yıldırıcı bir hal almış deneysel ve kuramsal sorunları çözen yüzlerce insanın eseridir. 1973 yılında son halini almış ve o zamandan günümüze kadar çok geniş çaplı deneylere rağmen ayakta durabilmiştir. Biz fizikçiler haklı olarak onunla gurur duyuyoruz.

Ama sonra ne olduğuna bakalım. Kuvvetlerin üçünün de aynı ilkeden kaynaklandığı anlaşılmıştı ve birleştirilmeleri gerektiği son derece açıktı. Fakat bütün parçacıkları birleştirmek için hepsini içerecek geniş bir simetriye ihtiyaç vardır. Bunu bulunca ayar ilkesini uygulayıp gereken üç kuvveti bulabiliriz. Parçacıkları ve kuvvetleri ayrıştırmak için böyle bir simetriye sahip bütün hallerin kararsız olmasını ve kararlı olanların da simetriden yoksun olmasını sağlamak gerekiyordu. Aslında bu çok da zor değildir, çünkü tartıştığımız gibi, doğada bulunan simetrik sistemler çoğunlukla kararsızdır. Kısacası, bütün parçacıkları kapsayan simetrinin kendiliğinden kırılmış olması gerekiyordu. Bunu içeren kuramlar bulmak mümkündür ve sonuçta üç kuvvetin gözlenen özelliklere sahip olması sağlanabilir.

Büyük birleştirme fikri sadece kuvvetleri bir araya getirmekten ibaret değildi, aynı zamanda kuarkları (yeğin kuvvetle etkileşen parçacıklar) leptonlara (elektrozayıf kuvvetle etkileşen par-

* Quantum ChromoDynamics –çn.

çacıklar) dönüştürebilecek bir simetri icat etmeye de dayanıyordu. Sonuçta ortada tek bir parçacık tipi ve tek bir ayar alanı tipi kalıyordu. Büyük birleştirmeyi gerçekleştirebilen aday kuramlar içinde en basit olanı SU(5)* simetrisine dayanan kuramdı. İsmi bu simetri altında birbirine dönüşen beş tip parçacık için bir kısaltmadır. Bu beşli, her tipten üç renk kuark ve iki leptondan –elektron ve elektron nötrinosu– oluşur. SU(5) kuramı sadece kuarkları ve leptonları birleştirmekle kalmadı, bunu daha önce eşine rastlanmadık bir incelikle başardı. Standart modelin her içeriğine anlam katmakla kalmayıp aynı zamanda daha önce keyfi olan birçok özellik için de zorunlu seçimler getirdi. SU(5) standart modelin bütün öngörülerini içermekle kalmıyor aynı zamanda yeni öngörülerde de bulunuyordu.

Bu öngörülerden biri kuarkların elektronlara ve nötrinolara dönüşebildiği süreçlerin olması gerekliliğidir. Bunun sebebi SU(5) kuramında kuarkların, elektronların ve nötrinoların tek bir temel parçacığın değişik yüzleri olmasından kaynaklanır. Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, iki şey birleştirildiğinde birbirlerine dönüşmelerini sağlayan fiziksel süreçler olmalıdır. SU(5) radyoaktif bozunmaya benzetilebilecek böyle bir süreç öngörür. Bu hayret uyandırıcı ve büyük birleştirmelere özel bir öngörüdür. Kuram tarafından şart koşulmaktadır ve kurama özgüdür.

Bir kuarkın elektronlara ve nötrinolara bozunabilmesinin ölçülebilir sonuçları olmalıdır. Kuarklardan oluşmuş bir proton artık bir proton değildir; daha basit öğelere bozunur. Yani protonlar artık kararlı parçacıklar değildir; bir tür radyoaktif bozunmaya uğrarlar. Haliyle, eğer bu çok sık gerçekleşseydi, dünyamız darmadağın olurdu çünkü içindeki birçok kararlı öğe protonlardan oluşmuştur. Yani eğer protonlar bozunabiliyorlarsa bunun hızı çok az olmalıdır. Kuramın öngördüğü de tam olarak budur: yaklaşık 10^{33} yılda bir proton bozunumundan az.

Bu olay son derece nadir gerçekleşmesine rağmen yine de deneysel olarak gözlenebilir, çünkü dünyada inanılmaz sayıda

* Determinantı 1 olan beşe beş üniter matrislerin grubu –çn.

proton vardır. SU(5) olabilecek en iyi birleşik kurama bir örnektir; bildiğimiz dünyayla çelişmeyen ama deneysel olarak doğrulanabilecek öngörülerde bulunan bir kuram. Proton bozunumunun son derece nadir olmasıyla baş etmek için kocaman bir tank yapıp içini son derece saf suyla doldurabiliriz. Böylelikle yılda yaklaşık bir proton bozunumu gözlemeyi bekleriz. Tankı kozmik ışınlardan yalıtmak gerekir, çünkü bu ışınlar protonları paramparça edecektir. Bunun sonrasında, proton bozunduğunda fazlasıyla enerji yayacağından, tankı dedektörlerle sarıp beklememiz yeterli olur. Fonlar oluşturuldu ve yeraltında madenlerin içine devasa tanklar inşa edildi. Sonuçlar sabırsızca beklendi.

Yaklaşık yirmi beş yıl oldu ve hâlâ bekliyoruz. Hiçbir proton bozunmadı. SU(5) büyük birleştirmesinin yanlış olduğunu anlayacak kadar bekledik. Çok güzel bir fikir ama anlaşılan doğada gerçekleşmiş bir fikir değil.

Yakınlarda lisansüstü okuldan bir arkadaşımla, Edward Fahri'yle karşılaştım. Karşılaşmamızdan kısa bir süre sonra kendisi MIT'deki Kuramsal Fizik Merkezinin yöneticisi oldu. Yirmi yıldır ciddi bir konuşma yapamamıştık ama birbirimize söyleyecek çok şey olduğunu fark ettik. İkimiz de doktoralarımızı aldığımız zamandan beridir parçacık fiziğine neler olduğu ve neler olmadığı hakkında düşünceler içindeydik. Eddie parçacık fiziğine önemli katkılarda bulunmuştu ama şimdi hızlı bir gelişme içinde olan kuantum bilgisayarları konusu üzerine çalışıyordu. Ona neden diye sorduğumda, kuantum hesaplamada parçacık fiziğinin aksine ilkelerin ne olduğunun bilindiğini, bunların yol açtığı sonuçların çalışılabilir olduğunu ve öngörüleri sınayacak deneylerin gerçekleştirilebilir olduğunu söyledi. Kendimizi parçacık fiziğinin yüksek lisans eğitimimiz süresinde bizi heyecanlandıran o hızla gelişen alan olmaktan ne zaman çıktığını anlamaya çalışırken bulduk. Cevabın, protonun SU(5) büyük birleştirme kuramınca öngörülen zaman aralığında bozunmadığının anlaşılmasından beri, olduğunda fikir birliğine vardık. "Protonların bozunacağına dair hayatım üzerine –belki hayatım üzerine değil ama ne dediğimi anlıyorsun– bahse gire-

bilirdim," dedi. "SU(5) ne kadar güzel bir kuramdı, her şey mükemmel bir şekilde yerli yerine oturuyordu; sonra doğru olmadığı anlaşıldı."

Gerçekten de bu olumsuz sonucun etkilerini küçümsemek oldukça zor. SU(5) kuarkları ve leptonları birleştirmenin bilinen en güzel yoluydu ve standart modelin özelliklerinin basit bir şekilde anlaşılmasını sağlıyordu. Yirmi beş yıl sonra bile SU(5) kuramının işlememiş olmasını hayretle karşılıyorum.

Bunun sebebi biz kuramcıların bu sorunla baş edemeyecek olması değil. Kurama fazladan bir simetri ve fazladan parçacıklar ekleyerek ayarlanacak sabitlerin sayısını artırabiliriz. Daha fazla serbest sabit kullanarak proton bozunumunun istediğimiz kadar nadir olmasını sağlayabiliriz. Kısacası bu kuramı deneysel başarısızlıktan kurtarmak çok kolaydır.

Bunu yaptığımız anda zaten yeteri kadar zarar vermiş ve derin bir fikrin çarpıcı ve kendine has bir iddiasını gözlemleme olanağımızı kaybetmiş oluruz. En basit haliyle büyük birleştirme proton bozunumu için bir sayı sağlamıştı. Eğer büyük birleştirme doğru fakat proton bozunumunu istediğimiz oranda ayarlayabileceğimiz kadar karmaşıksa kuramın öngörüsel yeteneği yok demektir. Büyük birleştirmedeki esas amaç standart modelin bazı sabitlerinin değerlerini açıklamaktı. Bunun yerine, büyük birleştirmenin böyle bir hali, eğer doğruysa, deneylerle uyuşmazlıkları gidermek için ayarlanması gereken yeni sabitler getirecektir.

Burada daha önce çıkardığımız genel dersin bir resmini görüyoruz. Değişik parçacıkları ve kuvvetleri birleştirdiğinizde dünyaya yeni tür kararsızlıklar ekleme riski vardır. Bu böyledir çünkü birleştirilen parçacıkları birbirine dönüştüren yeni kuvvetler olacaktır. Böyle kararsızlıkları gidermenin bir yolu yoktur; aslında bu tür süreçler birleştirmenin geçerli olduğunun kanıtlar. Tek sorun, standart model gibi çabucak doğrulanmış açık öngörülerde bulunabilen iyi bir modelle mi, yoksa sonuçlarını gizlemek için temellerini eğip bükmemizi gerektiren pek de dost yanlısı olmayan bir modelle mi uğraştığımızdır. Bu, günümüz birleştirme kuramlarının ikilemidir.

5. BİRLEŞTİRME VE SÜPER-BİRLEŞTİRME

İlk büyük birleştirme kuramlarının başarısızlığı günümüzde hâlâ devam eden bir krize yol açmıştır. 1970'li yıllardan önce kuram ve deney hep el ele yürümüştü. Eskiden yeni fikirleri sınamak birkaç, bilemediniz en fazla on yılda bir mümkün olabiliyordu. 1780'den 1970'lere kadar yaklaşık her on yılda bir fiziğin temellerini derinden etkileyen gelişmeler olmuş ve her seferinde de kuram deneyin karşılığını bulmayı becermişti. Ama 1970'lerin sonlarından beri temel parçacıklar fiziğinde anlayışımızı değiştirecek tek bir gerçek gelişme olmamıştır.

İyi bir fikir başarısız olduğunda olası iki değişik tepkiden bahsedebiliriz. Çıtayı düşürüp azar azar gelişen bir bilime yönelebilir, bilgimizin sınırlarını yeni kuramsal ve deneysel olanaklarla yavaş yavaş keşfetmeye çalışabiliriz. Birçok parçacık fizikçisi böyle yaptı. Buna bağlı olarak da standart modeli çok kapsamlı deneysel sınamalardan geçirebildik. Geçen yirmi beş yıl içinde yapılan en anlamlı keşif nötrinoların kütleli olduklarının bulunmasıdır, ama bu bile standart modeli azıcık değiştirerek açıklanabilmektedir. Bunun dışında pek bir değişiklik olmamıştır.

Büyük bir fikrin başarısızlığına verilebilecek diğer tepkiyse daha da büyük bir fikre yönelmektir. Önceleri sadece birkaç kuramcı bu yola yöneldi, sonradan onları izleyenlerin sayısı gitgide arttı. Bu yolu yalnız yürümemiz gerekti; bu fikirler için hiçbir deneysel destek oluşmamıştır.

Bu yıllar boyunca icat edilen ve araştırılan yaklaşımlar içinde en çok ilgi görenlerden biri *süpersimetri* fikridir. Eğer doğruluğu kanıtlanabilirse, doğanın temelleri üzerine anlayışımızı görelilik kuramı ve ayar ilkesi kadar derinden etkileyecektir.

Görmüş olduğumuz gibi başarılı birleştirmeler doğanın daha önceleri farklı olduğu düşünülmüş yönleri arasındaki gizli

bağları ortaya çıkarır. Uzay ve zaman daha önceleri farklı olarak algılanırdı; özel görelilik kuramıyla birleştirildiler. Kütleçekim ve geometri bir zamanlar alakasız kavramlardı; genel görelilik onları bir araya getirdi. Bunlara rağmen dünyayı oluşturan parçacıklar arasında hâlâ büyük bir farklılık vardır; kuramlarımız maddeyi oluşturan parçacıkları (kuarklar, elektronlar gibi) ve bunlar arasındaki etkileşmeleri sağlayan kuvvetleri (ya da alanları) aynı şekilde betimlemez.

Ayar ilkesi kuvvetlerden üçünü birleştirmemizi sağlar, fakat parçacıklar ve kuvvetler arasındaki ayrım hâlâ olduğu gibi durmaktadır. Esir ve birleşik alan kuramları bunları birleştirmekte başarısız olmuşlardı. Süpersimetri fikri bu amaca yönelik üçüncü denemedir.

Kuantum kuramı parçacıkların dalga, dalgalarınsa parçacık olduğunu söyler, ama bu ilke parçacıklar ile kuvvetleri birleştirmeye yetmez. Bunun sebebi kuantum kuramının temel nesnelerinin iki sınıfa ayrılmasıdır. Bunlara *fermiyon*'lar ve *bozon*'lar diyoruz.*

Maddeyi oluşturan, elektron, proton ve nötrino gibi bütün parçacıklar fermiyonlardır. Bozonlarsa bütün kuvvetlerden sorumludur. Foton, W ve Z gibi ayar alanlarının tümü bozondur. Higgs parçacığı da bir bozondur. Süpersimetri bu iki büyük sınıfı birleştirmenin bir yoludur. Bunu, oldukça yaratıcı bir şekilde, her parçacığa eşlik eden ve henüz keşfedilmemiş bir süper eş olduğunu önererek sağlar.

Basitçe söylersek, süpersimetri, bir fermiyonun bir bozonla yer değiştirmesini deneylerin sonucunu etkilemeyecek şekilde sağlamanın bir yoludur. Bu aslında oldukça zor bir şeydir, çünkü bozonlar ve fermiyonlar çok farklı özellikleri olan nesnelerdir. Örneğin fermiyonlar, 1925'te Wolfgang Pauli tarafından keşfedilen ve iki fermiyonun aynı kuantum durumunda bulunamayacağını söyleyen, *dışlama ilkesine* uyarlar. Bir atomdaki elektronların en alt yörüngeye yığılmasını engelleyen mekanizma bu ilkenin işleyişidir; bir elektron belli bir kuantum durumunu

* Önerenler *Fermi* ve *Bose*'un anısına –çn.

işgal ettiğinde aynı duruma başka bir elektron yerleştirilemez. Pauli dışlama ilkesi atomların ve malzemelerin birçok özelliğini açıklamaktadır. Öte yandan bozonlar çok farklı davranırlar; aynı kuantum durumuna ortak olmaya çalışırlar. Eğer bir fotonu belli bir kuantum durumuna yerleştirirsek, diğer bir fotonun aynı durumda olma olasılığı artar. Bu yatkınlık elektromanyetik alan gibi alanların birçok özelliğini anlamamızı sağlar.

Kısacası, bir fermiyonu bir bozonla değiş tokuş etmek ve sonunda da kararlı bir dünya resmine ulaşmak, ilk bakışta çılgınca gözükebilecek bir fikirdir. Buna rağmen, dört Rus bilimci bunu tutarlı bir şekilde yapabilen bir kuram buldular. Bu kurama bugün süpersimetri diyoruz. Kuram ilk olarak 1971'de Evgeny Likthman ve Yuri Golfand ve 1972'de Vladimir Akulov ve Dmitri Volkov tarafından oluşturulmuştur.

O günlerde Batı bilimcileri Sovyetler Birliği'ndekilerle iletişim içinde değildi. Sovyet bilimcilerinin seyahat etmesine çok ender durumlarda izin veriliyordu ve Sovyet kökenli olmayan dergilerde yayın yapmalarına da engel olunuyordu. Birçok Batılı fizikçi Sovyet dergilerinin çevirilerini okumuyordu. Bunun sonucundaysa SSCB'de gerçekleştirilen birçok keşif Batı tarafından takdir edilemiyordu. Süpersimetri fikrinin de akıbeti böyle oldu.

Böylelikle süpersimetri iki defa daha icat edildi. 1973'te Avrupalı fizikçiler Julius Wess ve Bruno Zumino farklı birçok süpersimetrik kuram buldular. Rusların keşfinin aksine onların çalışması hemen fark edildi ve geliştirilmeye başlandı. Kuramlarından biri elektromanyetizmanın genişletilmiş bir haliydi ve fotonu nötrinoya çok benzer bir parçacıkla birleştiriyordu. Süpersimetri bir kere de sicim kuramı bağlamında keşfedildi, bunu daha ilerde ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

Süpersimetri doğru olabilir mi? Değişmemiş haliyle bu mümkün olamaz çünkü her fermiyon için aynı kütlede bir bozon olduğunu iddia eder. Örneğin elektronla aynı kütlede bir bozon olmalıdır. Bu parçacığa süperelektron anlamına gelen selektron denir. Eğer gerçekten var olsaydı çoktan hızlandırıcı deneylerinde gözlenmiş olmalıydı.

Bu sorunu gidermek için tekrar kendiliğinden simetri kırılması fikrinden faydalanabiliriz. Sonuç oldukça basittir. Selektron çok büyük bir kütle edinir ve elektrondan çok daha ağır olur. Kuramda bol sayıda bulunan serbest parametreleri ayarlayarak selektronu istediğimiz kadar kütleli yapabiliriz. Buna karşın bir hızlandırıcının yaratabileceği kütlelerin de bir üst sınırı vardır. Bunu durumundan faydalanarak bu süper eşlerin neden şimdiye kadar gözlenmediğini açıklamak mümkündür. Ve yapılan da tam olarak budur.

Bu öykünün daha önce anlattığımız öykülerle bir benzerliği var. Biri bir birleştirme önerisinde bulunur. Kuramın çok önemli deneysel sonuçları vardır. Ne yazık ki deneysel veriler kuramla uyum içinde değildir. Buna cevap olarak bilimciler kuramı karmaşıklaştırarak birçok serbest parametre içerecek hale getirirler. Sonra da bu parametrelerle oynayarak öngörüleri gizlemeye çalışırlar. Böylelikle birleştirmenin doğru olduğunu ve buna rağmen neden halihazırda deneysel olarak doğrulanmadığını açıkladıklarını iddia ederler. Fakat bu tür bir yaklaşım kuramı yanlışlamayı neredeyse olanaksız hale getirir, çünkü deneylerden çıkabilecek her olumsuz sonuç bu serbest parametreleri ayarlayarak bertaraf edilebilir.

Süpersimetri hikâyesinin başından beri yapılan şey birleştirmenin sonuçlarını saklamaya çalışmaktan ibarettir. Bu süpersimetrinin yanlış olduğu anlamına gelmez ama otuz yıl gibi bir süre geçtikten sonra bile kuramın sınanabilecek kesin bir öngörüde neden hâlâ bulunamamış olduğunu açıklar.

Wess, Zumino ve süpersimetriyi bulan Ruslardan hayatta kalan son kişi olan Akulov'un neler hissettiğini ancak hayal edebilirim. Ya kendi nesillerinin en büyük buluşunu yaptılar ya da doğayla bağı olmayan kuramsal bir icatta bulundular. Şu anda bu konuda karar vermemizi sağlayacak deneysel bir veri yok. Geçen otuz yıl boyunca kurulan her hızlandırıcıda yapılan ilk şeylerden biri de süpersimetrinin öngördüğü yeni parçacıkları aramaktı. Bunlara benzer bir parçacık bile bulunamadı. Sadece bir sonraki deneyi beklemek için parametrelerin değerleri değiştirildi.

Bugün de şu sırada CERN'de inşası süren Büyük Hadron Hızlandırıcısında (LHC)* yapılacak deneyleri bekliyoruz. Her şey planlandığı gibi giderse 2007 yılında çalışmaya başlayacak. Parçacık fizikçileri arasında bu aletin bizi içinde olduğumuz bunalımdan çıkaracağına dair büyük ümitler yeşerdi. İlk olarak, LHC'de Higgs alanından sorumlu ve kütleli bir parçacık olan Higgs parçacığını görmeyi umuyoruz. Eğer bu gerçekleşmezse büyük bir sorunla karşı karşıya kalacağız.

Yine de en tehlikede olan fikir süpersimetridir. Eğer süpersimetri LHC'de ortaya çıkarsa onu icat edenler mutlaka Nobel Ödülü alacaklar. Bu gerçekleşmezse dağıtılacak birçok ahmak şapkası olacaktır; tabii ki kuramı icat edenlere değil çünkü yeni bir kuram kurgulamakta hiçbir ayıp yoktur, zor durumda hissedecek olanlar bütün mesleki hayatlarını bu kuramı genişletmeye adamış bilimcilerdir.

LHC'ye çok ümit bağlamış durumdayız çünkü orada yapılacak deneyler bize ilk bölümde bahsettiğimiz beş sorundan biri hakkında bilgi sağlayacak: deney sonucunda standart modeldeki bir sürü parametrenin aldığı değerleri açıklayabilmeyi umuyoruz. Bunun nasıl olacağı bu değerlerin neden ya çok küçük ya da çok büyük olduklarını anlayabilmemize bağlıdır. İki proton arasındaki elektrik itme kuvveti aralarındaki kütleçekim kuvvetinden 10^{38} kat daha büyüktür. Bunun yanında parçacıkların kütleleri arasında da çok büyük farklılıklar bulunur. Örneğin bir elektron protondan 1800 kat daha hafiftir. Higgs bozonuysa, eğer varsa, protondan en az 120 kez daha ağır olmalıdır.†

Bu farklılıkların tümünü betimlemek için parçacık fiziğinin demokratik olmak yerine hiyerarşik olduğundan bahsederiz. Bilinen dört kuvvet oldukça geniş bir şiddet yelpazesine yayılmıştır. En zayıftan en güçlüye, yani kütleçekimden çekirdek fiziğine kadar, bir hiyerarşi içindedirler. Fizikteki birçok kütle de belirli bir hiyerarşiye sahiptir. Bunun en tepesinde, erişildiğinde kuantum kütleçekim etkilerinin önemli hale geleceğine inanılan, Planck

---

* Large Hadronic Collider. Protonlarla protonları çarpıştırır –çn.

† 2012 yılında CERN'de Higgs bozonunun kütlesi 125 GeV (protonun kütlesinden 125 kat daha ağır) olarak ölçüldü –yn.

kütlesi vardır (enerji ve kütlenin eşdeğer olduğunu hatırlayalım). Planck kütlesinden yaklaşık on bin kez daha düşük bir seviyede elektromanyetizmayla çekirdek kuvvetleri arasındaki farklılıklar ayrıştırılabilir hale gelir. *Birleşme seviyesi* de denilen bu enerji seviyesinde gerçekleştirilecek her deneyde üç yerine sadece bir kuvvet gözlenecektir. Hiyerarşinin aşağılarına doğru ilerleyip Planck enerjisinden 10^{16} kat daha düşük seviyelere geldiğimizdeyse zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin birleştiği TeV (Tera elektron volt ya da 10^{12} elektron volt) bölgesine ulaşırız. Buna *zayıf etkileşme seviyesi* denir. Higgs bozonunu bulmayı umduğumuz seviye işte bu seviyedir. Aynı zamanda birçok kuramcıya göre süpersimetri de burada keşfedilecektir. LHC hızlandırıcısı bu aralığı çalışmak için yapılıyor. Bu seviyenin bin kat altında protonun kütlesine erişiriz. Bir kere daha bine bölersek yaklaşık olarak elektron kütlesine ulaşırız. Bütün bunlardan çok daha alt seviyedeyse maddenin yokluğunda bile var olan boşluk enerjisi yer alır.

Bu son derece güzel ama bir o kadar da kafa karıştırıcı bir resimdir. Doğada neden bu kadar geniş bir hiyerarşi vardır? En yeğin kuvvetle en zayıfı arasındaki fark neden bu kadar büyüktür? Protonların ya da elektronların kütleleri Planck kütlesi ya da birleştirme seviyelerine oranla neden bu kadar küçükler? Bu duruma *hiyerarşi sorunu* denir. LHC'nin bu konuda ipuçları sağlayacağına inanıyoruz.

Peki LHC'de tam olarak ne göreceğiz? Standart modelin başarısının ispatlandığı 1970'li yılların sonundan beri parçacık fiziğini meşgul eden en merkezi soru budur. Kuramcıların önünde LHC deneylerine hazırlanmak için otuz yıllık süre vardı. Hazır mıyız? Utanılacak bir durum ama cevap olumsuz.

Eğer hazır olsaydık, LHC deneyleri hakkında şüphe götürmeyecek öngörülerde bulunmuş ve doğrulanmayı bekliyor olurduk. Parçacık fiziği hakkında bildiklerimizi göz önünde tutarsak, en zeki insanlardan binlercesinin gelecek en büyük deneyin neleri açığa çıkaracağı hakkında tek bir açık öngörüde bile bulunamamış olması son derece hayret uyandırıcı bir durumdur. Buna rağmen Higgs bozonunun gözlemleneceği umudu dışında açık ve net bir fikrimiz yok.

Fikir birliği olmadığı zaman birkaç rakip kuramın böyle öngörülerde bulunacağını bekleyebilirsiniz. Ama gerçekler çok daha çetrefil. Masada bir sürü birleştirme önerisi var. Hepsinin potansiyeli var ama içlerinden hiçbiri diğerlerinden daha basit ya da daha açıklayıcı değil. Hiçbirinde gerçeklik payı yokmuş gibi duruyor. Kuramsal fikirlerin otuz yıl sonra bile neden hâlâ olgunlaşamamış olduğunu anlamak için hiyerarşi sorununa daha yakından bakmamız gerekiyor. Neden kütleler ve diğer sabitler böylesine geniş bir yelpaze oluşturuyorlar.

Hiyerarşi sorunu bize iki açıdan meydan okuyor. Birincisi bazı parametrelerin gözlenen değerlerinin neden bu şekilde olduğu, nasıl böylesine büyük oranların gerçekleştiğidir. İkinciyse parametrelerin bu değerlerde nasıl sabitlendikleridir. Parametrelerin bu kararlılığı şaşırtıcıdır çünkü kuantum mekaniği bütün kütlelerin Planck seviyesine doğru çekileceğini söyler. Bunun nasıl böyle olduğunu burada araştırmamıza gerek yok, sabitleri birer ayar düğmesine benzetirsek, bu düğmelerinden bazılarının birbirlerine sanki gitgide sertleşen lastiklerle bağlıymış gibi davrandığını bilmemiz yeterli olacaktır.

Böylelikle, standart modeldeki büyük oranlara ulaşabiliriz ama bunu yapmak için sabitlerin değerlerini son derece hassas bir şekilde belirlemek gerekir. Gerçek kütleler arasında ne kadar büyük farklılıklar istiyorsak içsel kütleleri (kuantum etkisi eklenmemiş kütleleri) o kadar hassas şekilde belirlemeliyiz. Ne kadar hassasiyet gerektiği ne tür parçacıklarla uğraştığımıza bağlıdır.

Ayar bozonlarının kütleleri problem yaratmaz; bunların sahip oldukları simetri lastiklerin kütlelerini çekmesine engel olur. Böylelikle kuantum etkileri göz önüne alındığında dahi elektromanyetik alandan sorumlu bozon olan foton kütlesiz kalabilir. Maddeyi oluşturan kuarklar ve leptonlar için de bir sorun yoktur, kütlelerine eklenen kuantum katkıları içsel kütlelerinin bir çarpanı olarak etkili olur. Eğer içsel kütleler küçük olursa kuantum katkıları da küçük kalabilir. Kısaca ayar bozonlarının ve fermiyonların kütlelerinin *koruma altında* olduklarını söyleyebiliriz.

Sorun böyle bir koruma altında olmayan parçacıklar için geçerlidir. Standart model kapsamında böyle bir korumanın geçerli olmadığı tek ama tek parçacık Higgs bozonudur. Bunun sonucunda Higgs kütlesinin Planck enerjisine doğru çekilmesini önleyebilmek için standart model sabitlerini otuz iki ondalık gibi hayret verici bir hassasiyetle belirlememiz gerekmektedir. Bu ondalıklardan herhangi birindeki bir sapma Higgs bozonunun beklenenden çok daha ağır olmasına yol açacaktır.

Kısacası amaç Higgs'i, tabir yerindeyse evcilleştirmek, boyunu posunu ayarlamaktır. 1975'ten beri öne sürülen bütün büyük fikirler sadece bunu sağlamaya yöneliktir.

Higgs'i evcilleştirmenin bir yolu temel bir parçacık olmadığını kabul etmektir. Eğer daha iyi davranan parçacıklardan oluşuyorsa sorun giderilebilir. Higgs bozonunun nelerden oluşabileceği hakkında birçok öneri vardır. En zarif ve en az değişiklik içeren yaklaşım Higgs parçacığının çok ağır kuark ya da leptonlardan oluşan bir sistem olduğunu kabul eder. Yeni hiçbir şeye ihtiyaç yoktur, ne yeni parçacıklar ne de keyfi olarak ayarlanabilecek parametreler gereklidir. Kuram sadece ağır parçacıkların yeni şekillerde birleşebileceğini önerir. Böyle bir kuramın en sorunlu yanı, yol açtığı sonuçları anlamak için yapılması gereken hesapların son derece zor olmasıdır. 1960'larda böyleydi, şimdi de böyle.

Zariflik açısından ikinci sırada geldiği iddia edilebilecek bir fikre göreyse Higgs bozonu, protonu ve nötronu oluşturanlardan farklı, yeni bir kuark türünden oluşmuştur. Başında bu fazlaca teknik bir yaklaşım olarak görülmüştü, bu yüzden bunlara teknikuark [*techniquark*] denilmiştir. Birbirlerine, protonları ve nötronları birbirine bağlayan çekirdek kuvvetlerine benzer: yeni tür bir kuvvetle bağlanırlar. Kuantum kromodinamiğinden kaynaklanan kuvvete yeri geldiğinde renk de denildiği için, bu yeni kuvvet, tabii ki, Technicolor (teknikolor) olarak adlandırılmıştır.

Bu fikir daha kolay hesaplamalar gerektirir. Esas sorun bütün gözlemlerle uyumlu hale getirilmesini sağlamaktadır. Yine de bu imkânsız değildir ve bu fikir üzerine kurulmuş birçok

farklı kuram vardır. Bunlardan birçoğu deneysel olarak yanlışlanmıştır, bazıları içinse hâlâ ümit var.

Üçüncü bir yolsa bilinen bütün parçacıkların daha temel öğelerden oluştuğunu kabul eder. 1970'lerde az sayıda kuramcı tarafından izlenmiştir. Doğal bir fikir gibi durur; eğer protonlar ve nötronlar kuarklardan oluşmuşsa bu yapı neden tam burada sona ersin ki? Belki daha temel bir yapı vardır ve kuarklar, elektronlar, nötrinolar ve hatta Higgs ve ayar bozonları da daha temel olan ve *preon* olarak adlandırılan parçacıklardan oluşmuştur. Bu tip kuramlar gerçekten de çok zariftir. O sıralarda deneysel olarak 45 temel fermiyon olduğunu biliyorduk, bunların hepsi de sadece iki tip preonla oluşturulabilir.

Dahası preon modelleri doğada gözlenen ama standart modelde ucu açık bırakılmış bazı özellikler hakkında da açıklamalar getirirler. Örneğin kuarkların birbirlerinden alakasızmış gibi gözüken iki özelliği vardır; renk ve yük. Her kuark çeşnisinin değişik renkler olarak adlandırılan üç değişik hali vardır. Ama neden üç renk? Neden iki ya da dört değil? Aynı zamanda her kuarkın bir de elektrik yükü vardır ve bunlar elektron yükünün 1/3 ya da 2/3'ü kadardır. Bu 3 sayısı her iki durumda da ortaya çıktığından bu iki özelliğin, renk ve yükün, ortak bir kökeni olduğundan şüphelenebiliriz. Ne standart model ne de bildiğim kadarıyla sicim kuramı bu rastlantı hakkında bir şey söyler ama preon modeliyle bunu anlamak mümkündür.

Ne yazık ki preon modellerinin cevaplamakta başarısız olduğu çok önemli sorular da vardır. Bunlar gözlediğimiz parçacıkları oluşturan preonları bir arada tutacak kuvvetin doğası üzerine sorulardır. Problem gözlenen parçacıkları hem küçük hem de hafif tutabilmektir. Preon kuramcıları bu sorunu çözemediğinden, preon modelleri 1980'e gelindiğinde terk edilmişti. Yakınlarda doktora derecelerini bu tarihten sonra almış tanınmış birkaç fizikçiyle konuşmuştum; preonları hiç duymamış olduklarını öğrendim.

Sonuç olarak, Higgs'in bileşik bir parçacık olduğu kuramlar pek de inandırıcı olamadılar. Bunun sonunda da kuramcıları bir

çaresizlik aldı. Eğer Higgs temel bir parçacıksa özelliklerini nasıl kontrol edebilirdik?

Bir parçacığın istenmeyen özelliklerini düzeltmenin yollarından biri de onu yapısı daha kısıtlı bir parçacıkla ilişkilendirmekten geçer. Ayar bozonlarının ve fermiyonların koruma altında olduğunu biliyoruz; kütleleri sonsuza ıraksamıyor. Acaba Higgs'i kütlesi koruma altında olan bir paracığa bağlamak mümkün olabilir mi? Eğer bunu yapabilirsek Higgs'i evcilleştirmek mümkün olabilir. Bu şekilde çalıştığı bilinen tek fikir süpersimetridir. Buna göre her fermiyonun süper eşi bir bozon olacaktır ve Higgs parçacığının yanında *higgsino* olarak adlandırılan bir fermiyon bulunur. Higgsino bir fermiyon olduğu için kütlesi kuantum katkılarına karşı koruma altında olacaktır. Süpersimetri eşlerin kütlelerinin eşit olduğunu söylediğinden buradan Higgs kütlesinin de iyi davranacağını göstermek mümkün olabilir.

Bu fikir Higgs kütlesinin Planck seviyesine oranla neden bu kadar küçük olduğunu açıklayabilir. Bu haliyle fikir oldukça zarif duruyor, ama uygulamada oldukça karışık bir hal alıyor.

En önemlisi, bir kuramın süpersimetrisi kısmi olamaz. Eğer bir parçacığın bir süper eşi varsa diğer her parçacığın da olmalıdır. Böylece her kuark için bir skuark olarak adlandırılan bir parçacığın varlığından bahsetmek zorunda kalırız. Fotonun ortağınaysa fotino denir. Bundan sonra kuvvetler öyle ayarlanmalıdır ki fiziksel süreçlerde parçacıkları süper eşleriyle değiş tokuş ettiğimizde sonuçlar değişmesin.

Haliyle daha da basit bir sonuçtan bahsedebiliriz. Ya bildiğimiz iki parçacık aslında birbirlerinin süper eşleriyse? Belki de foton ve nötrino süpersimetrik eşlerdir? Ya da Higgs ve elektron? Bilinen parçacıklar arasında yeni bir ilişki mutlaka zarif ve inandırıcı olacaktır.

Ne yazık ki kimse bilinen iki parçacığı böyle sınıflandırabilecek bir süpersimetri kuramı bulamadı. Bilinen bütün süpersimetri kuramları parçacık sayısının iki katına çıkmasını gerektirir: bilinen her parçacık için bir süper eş olduğu kabul edilir. Böylelikle sadece skuarklar ya da fotinolar değil aynı zaman-

da nötrinoların yanına snötrinolar, Higgs parçacığının yanına higgsino ve hatta gravitonun yanına da gravitino olmalıdır. Bunlar, ikişer ikişer Nuh'un parçacıklar gemisini oluştururlar. Çok geçmeden kendinizi "sisimler" ya da "isiminolar" arasında bulursunuz ve çoban Sülü gibi hissedersiniz. Ya da çobanino Ülü gibi.

İyi ya da kötü, bildiğimiz doğa böyle değildir. Belirtmiş olduğumuz gibi hiçbir deney selektronları bulamamıştır, aynı şekilde skuarklar, sleptonlar ya da snötrinolar da gözlenmemiştir. Doğada son derece fazla foton vardır (her bir proton için yaklaşık bir milyar), ama şimdiye kadar tek bir fotino dahi gözlenmemiştir.

Bu sorunla başa çıkmanın yolu süpersimetrinin kendiliğinden kırılmış olduğunu kabul etmektir. 4. Bölümde bir simetrinin nasıl kendiliğinden kırılabileceğini görmüştük. Bu kavram süpersimetriyi de kapsayacak şekilde genelleştirilebilir. Kuvvetlerin temelde süpersimetri içerdiği kuramlar kurmak sonra da bu kuramların yasalarını zekice ayarlayarak en düşük enerji seviyesinin bu simetriye uymamasını sağlamak mümkündür. Bunun sonucundaysa bir parçacığın süper eşi farklı bir kütleye sahip olabilir.

Bu biraz çirkin bir kuram. Simetriyi kırmak için, Higgs'e benzer yeni parçacıklar eklemeliyiz. Bunların da süper eşleri olmalıdır. Böylelikle kuramın özelliklerini ayarlamakta kullanabileceğimiz serbest sabitlerin sayısı artar. Bütün bu sabitler süper eşlerin deneylerde daha gözlenmemiş olmasını açıklamak için ayarlanmalıdır.

Bu fikri başka kabuller yapmadan parçacık fiziğinin standart modeline uyguladığımızda, Minimal Süpersimetrik Standart Model ya da kısaca MSSM denen modele ulaşırız. 1. Bölümde bahsettiğimiz gibi standart modelde deneysel sonuçlarla bağlanmaları gereken yaklaşık yirmi adet serbest sabit vardır. MSSM içinse bu sayı yüz beşten fazladır. Kuramcılar bu parametreleri diledikleri gibi ayarlayarak kuramın deneysel sonuçlarla uyum içinde olmasını sağlayabilirler. Eğer bu kuram doğruysa Tanrı bir teknoloji tutkunu olmalıdır: Bir sürü ayar

düğmesi içeren bir müzik sistemine ya da her yelkenin şeklini değiştirmek için on altı değişik halatı olan bir tekneye sahip olmak isteyen birine benzer.

Şüphesiz ki doğa böyle olabilir. Kuramın ince ayar sorununu giderebilecek olanakları mevcuttur. Ayar düğmelerinin sayısını yirmiden yüz yirmi beşe çıkarınca varılan sonuç düğmelerin birbirlerine eskisi kadar sıkı bağlı olmamasıdır. Yine de bu kadar fazla ayar düğmesinin varlığı kuramı doğrulamanın ya da yanlışlamanın deneyciler için çok zor olacağı anlamına gelir.

Bu düğmelerin, süpersimetrinin kırılmasını ve süper eşlerin farklı kütleler almasını sağlayan birçok farklı konfigürasyonu mümkündür. Gözlenmemiş eşlerin bilinen parçacıklardan çok daha kütleli olması böylelikle mümkün olur. Bunu yaparken dikkatli olmak gerekir çünkü örneğin skuarkların kuarklardan daha hafif olduğunu öngören bir kuram sorunlu olacaktır. Dert değil. Bu sürüyle ayar düğmesi yardımımıza yetişir. Süper eşlerin çok daha kütleli ve bunun sonucunda deneylerden gizlenmiş olduğu birçok farklı kuram oluşturmak mümkündür.

Eğer ince ayar sorunu çözülecekse, kuramın Higgs bozonunun neden düşündüğümüz gibi ağır olduğunu da açıklaması gerekmektedir. Söylediğimiz gibi standart modele göre Higgs kütlesi yaklaşık yüz yirmi proton kütlesinden daha fazla olmalıdır. Bunu sağlamak içinse süpersimetrinin bu enerji seviyesinde gözlenebilir olması gerekir. Kısacası süper eşlerin de kütleleri yaklaşık bu seviyede olmalıdır ve eğer böyleyse LHC'deki deneyler bunları gözleyebilmelidir.

Birçok kuramcı LHC'de gözlenecek yeniliklerin tam da bu olacağına inanıyor: süper eşler olarak açıklayabileceğimiz sürüyle yeni parçacık. Eğer bu olursa gerçekten de son otuz yılın kuramsal fiziğinin bir zaferinden bahsedebileceğiz. Yine de kuramın temiz öngörülerde bulunamadığını hatırlatmak isterim. Eğer MSSM doğru olsa bile deneysel verileri açıklamak üzere bahsini ettiğimiz yüz yirmi beş sabiti birçok farklı şekilde ayarlayabiliriz. Bu en azından yaklaşık bir düzine çok farklı kurama yok açar ve doğal olarak bunlardan her biri LHC sonuçları hakkında oldukça değişik öngörülerde bulunur.

Sıkıntılar bununla da kalmıyor. LHC'de yeni bir parçacık gözlendiğini kabul edelim. Birçok süpersimetrik kuram olduğundan, genel fikir yanlış olsa bile düğmeler ayarlanarak deneysel verileri açıklamak mümkün olabilir. Süpersimetriyi doğrulamak için çok daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Öte yandan gözlenen yeni bir parçacığın bilinen parçacıklardan birinin süper eşi olacağı da kesin değildir, pekâlâ hiç gözlenmemiş bir parçacığın hiç gözlenmemiş süper eşi olabilir.

Süpersimetrinin gerçekliğini ispat etmenin en tartışmasız yolu, deneysel süreçlerin bu bakışım altında değişmezliğinin (ya da en azında, çok kısıtlı bir şekilde değişmesinin) gösterilmesidir. Fakat bu LHC için, en azından deneylerin başlarında, kolay olmayacaktır. Kısacası her şey en iyi şekilde gitse bile ince ayar sorununun doğru çözümünün süpersimetri olup olmadığını anlamamız ancak yıllar sonra gerçekleşecektir.

Şu sıralar, kuramcıların çoğu süpersimetriye inanıyor gibi. Önceki birleştirme fikirlerinden daha üstün olduğuna inanmak için yeterli sebep mevcut. İlk olarak Higgs bozonu eğer noktasal değilse bile çok büyük değilmiş gibi duruyor. Bu gözlem süpersimetri için avantaj yaratırken hepsi olmasa bile bazı teknikolor (*technicolor*) kuramlarını yanlışlıyor. Büyük birleştirme fikirlerinden kaynaklanan bir sebep de var. Önce de gördüğümüz gibi büyük birleştirme seviyesinde yapılacak deneyler elektromanyetizma ve çekirdek kuvvetleri arasında bir fark gözleyemez. Standart model, bazı ayarlamalarla, böyle bir birleştirme seviyesini öngörüyor ama süpersimetri eklenince birleştirme daha dolaysız gerçekleşiyor.

Süpersimetri gerçekten de çok çekici kuramsal bir fikir. Kuvvetlerin ve maddenin birleştirilmesi temel fizikteki en derin ikiliği açıklamamıza yarıyor. Bu böyle olunca birçok kuramcının süpersimetrik olmayan bir dünyayı hayal bile edememeleri çok doğal.

Aynı zamanda bazı kuramcılar aslında süpersimetrinin çoktan gözlemlenmiş olması gerektiğinden şüpheleniyor. Yakınlarda çıkan bir makalenin giriş bölümünden aldığım alışılagelmiş

bir yorum şöyle: "Diğer bir sorun da LEP II'de* ne Higgs bozonunun ne de süper eşlerin görülmemiş olmasıdır."[1] Kuzey Carolina Üniversitesinden tanınmış fizikçi Paul Frampton yakınlarda bana şöyle yazdı;

> "Yaklaşık on yıldır dikkatimi çeken bir nokta da şu: TeV seviyesi süpersimetri fenomenolojisi üzerine çalışan araştırmacıların çoğu süpersimetrinin bu seviyede gözlenmesi olasılığının yüzde elliden çok düşük olduğuna inanıyor, çoğunlukla yüzde beşten bahsediliyor."[2]

Bence süpersimetri, en azından şu anki haliyle, LHC'deki gözlemleri açıklayamayacak. Yine de süpersimetri deneysel olarak sınanabilir bir fikirdir ve estetik değerlerimiz ne olursa olsun, bu fikrin doğanın doğru bir özelliğini içerip içermediğini anlamak heyecan verici olacaktır.

Öte yandan süpersimetri gözlense bile 1. Bölümde bahsettiğimiz beş büyük problem hakkında bir çözüm öneremeyecektir. Standart modeldeki sabitler açıklanmış olmayacaktır çünkü MSSM çok daha fazla sabit içerir. Kütleçekimin kuantum kuramı hakkında bir kısıtlama getirmeyecektir çünkü önde gelen birçok kuram doğanın süpersimetri içermesi olasılığıyla uyumsuzluk içinde değildir. Kara madde süper eşlerden meydana geliyor olabilir ama bunun için dolaysız bir gözleme ihtiyaç vardır.

Bütün bunların temel sebebi, süpersimetri kuramlarının çok daha fazla simetri içermelerine rağmen basitlikte bir ilerleme sağlamamalarıdır. Aslında daha az simetrik kuramlardan çok daha karışıktırlar. Serbest sabitlerin sayısını düşürmek yerine çok daha artırırlar ve bilinen iki nesne arasında bir birleştirme sağlamazlar. Süpersimetri eğer bilinen iki olgu arasında tıpkı Maxwell'in elektrik ve manyetik olayları birleştirirken yaptığı gibi bir bağın keşfine yol açsaydı çok daha inandırıcı olabilirdi.

---

* CERN'de bulunan bir önceki nesil çarpıştırıcı (Large Electron Positron Collider). Elektronları ve pozitronları çarpıştırıyordu –çn.

1 Y. Nomura ve B. Tweedie, http://arxiv.org/abs/hep-ph/0504246.

2 F. Frampton'dan aldığım bir elektronik postadan. İzin alınarak alıntılanmıştır.

Eğer foton ve elektron ya da mesela nötrino ve Higgs süper eşler olsaydı gerçekten de muhteşem olurdu.

Fakat süpersimetri kuramlarının iddiası bu değildir. Bunun yerine bilinen bilinmeyen her parçacık için henüz bulunamamış bir süper eş olduğunu kabul eder. Böyle bir kuramsal başarı fazlasıyla kolaydır. Yepyeni bilinmeyen bir dünya icat edip, önerilen yeni her şeyi gizlemeye yarayan sürüyle parametresi olan kuramlar kurgulamak, teknik olarak zorluğu takdir edilmesi gereken bir çaba olsa da, pek de etkileyici değildir. Bu yaklaşım başarısız olamaz çünkü serbest sabitler ayarlanarak şu anki verilerle oluşabilecek herhangi bir uyumsuzluktan kolayca kurtulmak mümkündür. Sadece deneylerle sınanabilir.

Bu saptamalardan hiçbiri süpersimetrinin yanlış olduğunu gösteremez. Fikir doğru olabilir ve yakın gelecekte LHC'de gözlenmesi mümkündür. Yine de süpersimetrinin yeni bir kuramdan beklediğimiz gelişmeleri sağlayamıyor olması bu fikrin yandaşlarının deneysel bilimin sağlam zemininden uzakta, destekziz durduklarını düşündürüyor. Belki de Einstein'ın dediği gibi ahşabın zayıf olduğu yerde delik açmanın bedeli budur.

6. YOLDAKİ AYRIM: KUANTUM KÜTLEÇEKİM

1930'larda birçok fizikçi kütleçekimi ihmal ederken, birkaç cesur ve yürekli bilim insanı onu hızlıca gelişmekte olan kuantum kuramıyla bağdaştırmak için çalışmaya başladılar. Yaklaşık yarım yüzyıl boyunca kuantum kütleçekim üzerine çalışan öncülerin sayısı bir elin parmaklarını geçmedi ve genelde pek dikkat çekmediler. Yine de kuantum kütleçekim sorununu sonsuza kadar görmezden gelmek mümkün değildir. İlk bölümde bahsettiğimiz beş problem arasında çözülmesi şart olan problemdir. Diğer dördünün aksine doğa yasalarının yazıldığı dille ilgilidir. Bu problemi çözmeden diğerlerini açıklamak yasasız bir ülkede bir anlaşma üzerine pazarlık yapmaya benzer.

Kuantum kütleçekimi araştırmak gerçek bir keşif macerasıdır. Öncüler, yepyeni fikirlerle dolu bir diyara düşmüş gibiydiler. Şimdi sayıca daha fazlayız ve manzaranın kısmi bir haritası çizilmiş durumda. Bazı yolların çıkmazlarda sona erdiğini keşfettik. Bazı yollar daha yeni araştırılıyor, bazılarında yürüyenlerse iyice kalabalıklaştı. Yine de problemin çözümüne vardığımızı söyleyemeyiz.

Bu kitabın büyük bir bölümü Einstein'ın büyük başarılarının yüzüncü yıl dönümü olan 2005'te yazıldı. Yıl boyunca birçok toplantı ve konferanslar yapıldı; fiziğe dikkat çekmek için iyi bir fırsat oluştu. Kaderin cilvesine bakın, Einstein'ın fikirlerinden bazıları o kadar kökten değişimler içeriyordu ki bu yıl dönümünde bile bu fikirlerin fizikçilerin tümü tarafından takdir edilebilmiş olduğunu söyleyemeyiz. Bu fikirlerin içinde en önemlisi uzay ve zaman hakkındaki anlayışımızı tamamen yenileyen genel görelilik kuramıdır.

Genel görelilikten çıkaracağımız temel ders uzayın geometrisinin değişmez olmamasıdır. Maddenin hareketinden etkile-

nerek dinamik olarak değişir. Hatta uzayın geometrisi içinde hareket eden kütleçekim dalgalarından bile bahsetmek mümkündür. Einstein gelene kadar, okulda öğrendiğimiz Öklit geometrisi kurallarının ebedi ve değişmez olduğu düşünülürdü: Bir üçgenin iç açılarının toplamı her zaman için 180 dereceydi ve hep 180 derece olmuş ve olacaktı. Ama genel görelilikte bir üçgenin iç açılarının toplamı herhangi bir sayı olabilir çünkü uzay eğrilebilir.

Bu, uzayın yapısının bir düzlem yerine bir küre ya da bir eğerin yüzeyi gibi sabit olan başka geometrilerle açıklanması anlamına gelmez. Aksine maddeden ve kuvvetlerden etkilendiği için uzayın zamanla değişen herhangi bir geometriye sahip olacağına işaret eder. Geometrinin ne olduğunu belirleyen bir kural yerine nasıl değişeceğini açıklayan bir yasa vardır. Tıpkı Newton yasalarının bize nesnelerin nerede olduğunu değil, kuvvetler altında nasıl etkilendiklerini ve bunun sonucunda nasıl hareket edeceklerini söylemesi gibi.

Einstein'dan önce geometrinin kendisinin yasalardan biri olduğu düşünülüyordu. Einstein geometrinin zaman içinde değiştiğini söyleyen daha derin yasaları keşfetti.

Bu noktayı tamamıyla özümsemek çok önemli. *Geometri doğa yasalarının bir parçası değildir*. Bu yasalarda geometrinin ne olacağını belirleyen hiçbir öğe yoktur. Kısacası, Einstein denklemlerini çözmeden önce geometrinin ne olduğunu bilemeyiz. Ancak denklemleri çözdükten sonra geometrinin yapısını anlarız.

Bu, doğa yasalarını sabit bir uzay geometrisi kabul etmeden ifade etmemiz gerektiğini söyler ve Einstein'dan alacağımız dersin özüdür. Daha önce bu kavramı çerçevelemek için *ardalandan bağımsızlık* terimini kullanmıştık. Bu ilkeye göre doğa yasalarının tümünü belirli bir sabit ardalan geometrisi kabul etmeden yazmak mümkün olmalıdır. Geometrinin sabit kabul edildiği eski dil üzerinden konuşursak, bu ilkeyi üzerinde doğa törenlerinin sahnelendiği ardalanın bir parçası olarak görebiliriz. Fizik yasalarının ardalandan bağımsız olması uzayın geometrisinin zamanla evrildiği anlamına gelir. Uzayzaman

üzerinde olguların gerçekleştiği bir sahne değil temel yasalar sonucunda ortaya çıkan bir şeydir.

Ardalandan bağımsızlık bize tercih edilebilecek özel bir zaman kavramı olmadığını da gösterir. Genel görelilik dünyanın tarihini tarif ederken daha ziyade olaylar arasındaki ilişkilerden faydalanır. Bu birincil ilişkiler nedensellik ilkesiyle ilintilidir; bir olay nedensellik zinciri içinde diğer olayların sebebi olabilir. Bu bakış açısında uzay ikincil bir kavramdır. Uzay kavramı tamamen zaman tasımına bağlıdır. Örneğin bir saatimiz olduğunu düşünelim, bu saatin öğleyi işaret etmesi olayıyla eşzamanlı olan bütün olayların kümesi uzayı oluşturur.

Genel görelilikten alacağımız bir başka dersse zamanı ölçmenin tercih edilebilecek bir yolu olmamasıdır. Sebeplerin sonuçlardan önce olduğunu gösterecek her saat yeterlidir. Fakat uzayın tanımı zamanın tanımına bağlı olduğundan değişik zaman tanımları kadar uzay tanımı vardır. Biraz önce uzayın geometrisinin zamanla evrildiğini yazmıştım. Bu sadece evrensel bir zaman tanımı için değil bütün zaman tanımları için geçerlidir. Bunun nasıl gerçekleştiği Einstein'ın genel görelilik kuramında bulunan girift yapının güzelliğinin bir parçasıdır. Kuramın denklemlerinden uzayın geometrisinin olası her zaman tanımı için evrildiğini çıkarabiliriz; bu bilgi bu kitapta anlamak istediğimiz şeyler için yeterlidir.

Aslında ardalandan bağımsızlık kavramı daha da fazlasını söyler. Doğanın diğer bazı özellikleri fizik yasalarıyla sabitlenmiştir. Belki de olmamalılar. Örneğin uzayın üç boyutu olması ardalanın bir parçasıdır. Uzayın boyut sayısını bağlamaya gerek görmeyen daha derin bir kuram olabilir mi? Böyle bir kuramda boyut sayısının üç olması dinamik yasaların bir çözümü olarak bulunacaktır. Belki de böyle bir kuramda uzayın boyutları zamanla bile değişebilecektir. Böyle bir kuram kurabilirsek bize evrenin neden üç boyutlu olduğunu açıklayabilir. Eğer gerçekten de kurgulanabilirse bu bir ilerleme olarak görülmelidir, çünkü daha önceleri sadece kabule dayandırılmış bir sayının anlaşılmasına yol açar.

Kısacası ardalandan bağımsızlık kavramı bize nasıl fizik yapabileceğimiz hakkında bilgece bir fikir verir: Şu anda sadece kabul etmekle yetindiğimiz şeylerin açıklandığı ve yasalar uyarınca değişebildiği yeni ve daha iyi kuramlar bul. Einstein'ın genel görelilik kuramı uzayın geometrisi için tam olarak bunu yapmıştır.

Bu durumda bir kuantum kütleçekim kuramının anahtar sorusu şu olacaktır: uzayın sabit bir geometrisi olmaması ilkesini kuantum kuramına dahil edebilir miyiz? Yani kuantum kuramını en azından uzayın geometrisi açısından zeminden bağımsız hale getirebilir miyiz? Eğer bunu becerebilirsek kütleçekimi kuantum kuramıyla doğal olarak birleştirmiş oluruz, çünkü genel görelilik zaten uzayın dinamik bir geometriye sahip olduğunu söyler.

Sonuçta kütleçekimi kuantum kuramıyla birleştirmeyi amaçlayan yaklaşımları iki ana gruba ayırabiliriz: ardalandan bağımsızlığa erişebilenler ve erişemeyenler. Böyle bir ayrımın varlığı 1930'lardan beri vardı ve şu sıralar çoğu kuram ardalandan bağımsızdır. Önemli bir istisna bugünün fizikçilerinin çoğunun üzerinde çalıştığı sicim kuramıdır.

20. yüzyılın en ünlü fizikçisinin eriştiği en önemli başarının, onun izinden yürüdükleri iddiasıyla yaygaralar koparan birçok bilimci tarafından nasıl ve neden ihmal edildiği bilim tarihinin en garip hikâyelerinden biridir. Birinci Bölümde sıraladığımız sorular için merkezi bir önemi olduğundan bu hikâyeyi burada anlatmak zorundayız. Genel göreliliğin geniş kabul görmesine karşın merkezindeki fikri dikkate almayan bir kuram kurgulamak için sarf edilecek en ufak çabanın bile sebebini anlamak zordur. Bu sorunun cevabı bir öyküdür ve bu kitaptaki diğer birçok öykü gibi bu öykü de Einstein'la başlar.

Daha 1916 yılında, Einstein kütleçekim dalgalarını ve bunların enerji taşıdığını fark etmişti. Bunun atom fiziğiyle uyumlu olması için dalgaların taşıdığı enerjinin kuantum kuramıyla resmedilmesi gerektiğini de çıkarsamıştı. Kütleçekim dalgaları üzerine yazılmış ilk makalede şunları söylüyordu "anlaşılan kuantum kuramı sadece Maxwell'in elektrodinamik kuramını

değil aynı zamanda yeni kütleçekim kuramını da değiştirmek zorunda kalacak."[1]

Her şeye rağmen, kuantum kütleçekim sorununu ilk ortaya atan Einstein olmasına rağmen sonraları bu konuda çalışanların çoğu onun en derin fikrini ihmal ettiler. Bu nasıl olabildi?

Aslında bir sebep *var*. O sıralar kimse halen gelişmekte olan kuantum kuramının temel kavramlarının genel göreliliğe nasıl uygulanması gerektiğini bilmiyordu. Bunun yerine ilerleme daha dolaysız bir yolla mümkün oldu. Kuantum kuramını genel göreliliğe uygulamak isteyenler iki çetin sorunla karşılaştılar. Ardalan bağımsızlığı yanında, genel göreliliğin esasında bir alan kuramı olduğu gerçeğiyle boğuşmak zorunda kaldılar. Uzayın geometrisi için sonsuz olasılık vardır, bu yüzden değişkenlerin de sayısı sonsuzdur.

4. Bölümde söylediğimiz gibi, kuantum kuramı nihai haline erişir erişmez fizikçiler onu elektromanyetizma gibi alan kuramlarına uygulamaya başladılar. Bunlar sabit bir uzayzaman ardalanı üzerine inşa edilmiş kuramlardır –böylelikle ardalan bağımsızlığı sorunu ortadan kalkar– ama yine de fizikçilere sonsuz sayıda değişkenle baş edebilmek için tecrübe kazandırmışlardır.

İlk büyük başarıyı elde eden QED, kuantum kuramıyla Maxwell elektrodinamiğinin birleştirilmesiydi. 1929'da QED üzerine yayımladıkları ilk makalede, kuantum mekaniğinin kurucularından Werner Heisenberg ve Wolfgang Pauli çalışmalarını kütleçekimi de içerecek şekilde genişletmeyi düşündüklerini belirtmişlerdi. Anlaşılan bunun çok da zor olmayacağını düşünüyorlardı: "Fiziksel gerekçelerle mecburi gözüken kütleçekim alanının kuantumlandırılması burada uygulanan yöntemlere tamamen benzer yollarla icra edilebilir."[2]

---

[1] Einstein, "Kütleçekim Alan Denklemlerinin Yaklaşık İntegrasyonu," *Sitzungsbreichte der Preussische Akademie der Wissenchaften (Berlin, 1916)*, s. 688-96. Kuantum kütleçekimin erken tarihi için, Bkz. John Stachel'ın *Conceptual Foundations of Quantum Field Theory*, ed. Tian Yu Cao (Cambridge, UK: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1999) kitabındaki giriş ve beşinci kısımdaki yorumları.

[2] W. Heisenberg ve W. Pauli, "Zur Quantendynamik der Wellenfelder," Zeit. für Physik, 56:1-61 (1929), s. 3.

Yaklaşık yetmiş beş yıl sonra bu iki parlak insanın sorunun boyutlarını ne kadar yanlış tartmış oldukları karşısında hayrete düşmekten başka bir şey yapamayız. Ne düşünüyorlardı? Aslında ben bunu biliyorum çünkü o zamandan beri birçok bilimci aynı yaklaşıma yöneldi ve bu yolun sonundaki çıkmazı artık gayet iyi tanıyoruz.

Heisenberg ve Pauli, çok zayıf olduklarında kütleçekim dalgalarının sabit bir geometri üzerinde ufak oynamalar olarak kabul edilebileceğini düşünmüşlerdi. Sakin bir sabah vaktinde bir birikintiye ufak bir taş attığınızda suyun yüzeyi neredeyse hiç değişmez ve buna bakarak dalgaların o yüzey üzerinde ufak değişikliklerle tanımlanacağını düşünmek pek de zor değildir. Ama fırtınalı bir günde sahildeki dalgalar gibi güçlü ve çalkantılı hareketleri sabit bir ardalan üzerindeki değişiklikler olarak görmek anlamsızdır.

Genel göreliliğe göre evrende geometrinin, tıpkı sahilde kırılan dalgalar gibi, güçlü ve çalkantılı bir şekilde değiştiği bölgeler vardır. Ama Heisenberg ve Pauli dalgaların çok çok zayıf oldukları ve bundan ötürü de sabit bir zemin üzerinde değişiklikler gibi görülebileceği kabullerle çalışmanın daha kolay olacağını düşünmüşlerdi. Bu kabul yapılınca kendileri de sabit bir zemin üzerinde tanımlı kuantum elektromanyetik alanları için geliştirilmiş yöntemleri kullanmak mümkün oluyordu; ve bu zor da sayılmazdı. Bunun sonucunda görülür ki, tıpkı her elektromanyetik dalga aynı zamanda bir kuantum parçacığı, bir foton olduğu gibi, her kütleçekim dalgası için de graviton olarak adlandırılmış bir kuantum parçacığı vardır. Ama bir sonraki adımda büyük bir sorunla karşılaştılar çünkü kütleçekim dalgaları birbirleriyle etkileşebilir: Tanım gereği enerji taşıyan her şeyle etkileştiklerinden iki kütleçekim dalgası birbirleri için birer kütleçekim kaynağı gibidir. Eletromanyetik dalgalar için bu problem yoktur; fotonlar elektrik ve manyetik yüklerle etkileşmelerine rağmen kendileri yüksüzdür ve birbirlerinin içinden geçip giderler. Heisenberg ve Pauli'nin göremedikleri önemli ayrıntı iki tip dalga arasındaki bu farktır.

Gravitonların kendi kendilerine olan etkileşmelerini tutarlı bir şekilde betimlemek oldukça zordur. Şimdi anlıyoruz ki sorunun temeli Einstein'ın ardalandan bağımsızlık fikrini ciddiye almamış olmakta yatıyor. Kütleçekim dalgaları birbirleriyle etkileştiklerinde sabit bir ardalanda hareket ediyormuş gibi görülemezler. Aksine hareket ettikçe ardalanı *değiştirirler.*

Aslında az sayıda bilim insanı bunu 1930'larda dahi anlamıştı. Kuantum kütleçekim üzerine yazılmış belki de ilk doktora tezini Rus fizikçi Matvei Petrovich Bronstein kaleme almıştır. Tanıyanlar onu zamanının en iyi iki Sovyet fizikçisinden biri olarak anıyorlar. 1936 yılında bir makalede "bu mantıksal tutarsızlıkları gidermek için uzay ve zaman hakkındaki sıradan fikirlerimizi reddetmek ve yerlerine çok daha derin ve aşikâr olmayan kavramlar koymalıyız" diye yazmış ve ardından da "şüphesi olan bir gümüş sikke ödesin"[3] anlamına gelen Almanca bir atasözünü anmıştır. Bronstein'ın bakış açısının en büyük destekçisi parlak Fransız fizikçi Jacques Solomon olmuştur.

Bugün kuantum kütleçekim üzerine ciddi olarak düşünenlerin neredeyse hepsi Brosntein'ın yaklaşımını benimsiyor, maalesef bunun için yetmiş yıl geçmesi gerekti. Bu gecikmenin sebeplerinden biri Bronstein ve Solomon gibi zeki insanların bile kendi zamanlarının çılgınlıklarından kaçamamış olmasıdır. Bahsettiğim makaleyi yazmasından bir yıl sonra Bronstein NKVD tarafından tutuklanmış ve 18 Şubat 1938'de idam mangasının önüne çıkarılmıştır. Solomon ise Fransız Direnişine katılmış ve Almanlar tarafından 23 Mayıs 1942'de öldürülmüştür. Fikirleri tarih içinde kaybolup gitmiştir. Bütün hayatım boyunca kuantum kütleçekim üzerine çalıştım ama onların araştırmalarından ancak bu kitabı yazarken haberdar olabildim.

Bronstein'ın katkıları unutulmuştu ve birçok fizikçi kuantum alan kuramı üzerine çalışmaya geri dönmüştü. 4. Bölümde

---

3 M. P. Bronstein, "Quantization of gravitational waves," Zh. Eksp. Teor. Fix. 6 (1936), s. 195. Bronstein hakkında daha fazla bilgi için, Bkz. *Conceptual Foundations* içinde Stachel'ın yazıları ve G. Gorelik, "Matvei Bronstein and Quantum Gravity: 70'th Anniversary of the Unsolved Problem," *Physics-Uspekhi*, 48:10 (2005).

görmüş olduğumuz gibi QED'nin tamamlanması ancak 1940'lı yılların sonlarında mümkün olmuştur. Bu kuramın başarısı üzerine birkaç fizikçi kuantum kütleçekim üzerine çalışmaya geri döndüler. Hemen birbirine karşıt iki kamp oluştu. Bunlardan biri Bronstein'ı izleyip genel göreliliğin ardalandan bağımsızlığını ciddiye almayı seçti. Diğer kamptakilerse ardalandan bağımsızlığı tamamen unutup Heisenberg ve Pauli'nin yolunu izlediler; kütleçekim dalgalarını sabit bir zemin üzerindeymiş gibi kabul ederek onları kuantum kuramına dahil etmeye çalıştılar.

Arka plandan bağımsızlık genel göreliliğin ilkelerinden biridir. Bu yüzden de bu ilkeyi kuantum kuramı ile kütleçekimi birleştirme denemelerine dahil etmeye çalışmak oldukça anlamlıdır. Ama anlaşıldığı üzere bu iş söylendiği kadar kolay değil. İngiliz fizikçi P.A.M. Dirac ve Einstein'ın Princeton'daki asistanı olan Alman asıllı Peter Bergmann gibi birkaç bilimci ardalandan bağımsız bir kuantum kütleçekim kuramı oluşturmaya çalışmışlardı. Bunun son derece zahmetli bir uğraş olduğunu anladılar. Bu denemeler yaklaşık 1980'lerin ortasına kadar verimli olmadı, ama o zamandan beri ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim üzerine çok gelişmeler yaşandı. Kuantum kütleçekim kuramcılarından çoğu şimdilerde ardalandan bağımsız kuramlar hakkında araştırma yapıyorlar. Bu kuramlar sicim kuramı karşısındaki en önemli seçenek olduklarından, bunlara kitabın ilerleyen bölümlerinde geri döneceğiz.

1950'lerde insanlar kuantum kütleçekim üzerinde çalışmaya başladıklarında bütün bu ümit verici işaretlerden eser yoktu. Ardalandan bağımsız metotlara dayandırılan kısıtlı gelişmeler, QED'nin eriştiği büyük başarılar yanında sönük kalıyordu. Böylece 1980'lerin sonlarına kadar insanların çoğu diğer yolu seçti ve QED metotlarını genel göreliliğe uyarlamaya çalıştılar. Bu belki de anlaşılabilir bir şeydir. QED'yi formüle ettikten sonra insanlar ardalana bağlı kuramlar hakkında çok tecrübe kazanmışlardı. Bunun yanında ardalandan bağımsız bir kuramın, eğer böyle bir şey mümkünse, neye benzediği hakkında kimsenin hiçbir fikri yoktu.

Bu yolun sonunda sicim kuramına ulaşılmış olduğundan onun üzerinden tekrar gitmemizde yarar var. 1930'lardaki çalışmalar unutulmuştu ve sonuçlarının tekrar icat edilmeleri gerekiyordu. 1940'ların sonunda Harvard'da Julian Schwinger'in öğrencisi olan Bryce DeWitt doktora tezinde gravitonların kuramını tekrar çalıştı. Buna ve arkasından gerçekleştirdiği birçok buluşa dayanarak, DeWitt kuantum kütleçekim kuramının kurucularından biri olarak kabul edilir.

Fakat söylediğimiz gibi, bir graviton kuramı yeterli olamaz. Bu kuram gravitonlar sadece uzayda hareket ettikleri sürece sorunsuz çalışır. Ama gravitonların tek yaptığı buysa, kütleçekimden ve eğri uzayın dinamik geometrisinden söz etmek imkânsızdır. Kısacası graviton kuramı genel görelilikle kuantum kuramının birleştirilmesi değil, sadece zayıf kütleçekim alanlarının kuantum kuramıyla bağdaştırılmasıydı. 1950'li yılların başlarında insanlar kütleçekim dalgalarının birbirleriyle olası etkileşmelerini çalışmaya başladıklarında, graviton kuramıyla ilgili sorunlar tekrar ortaya çıkarılmış oldu. O zamandan 1980'lerin başına kadar etkileşme sorunu üzerine bayağı emek harcandı. Bu çalışmaların sonucundaysa hiçbir başarı elde edilemedi.

Biraz durup böyle bir durumun insani yönü üzerinde düşünmemiz faydalı olabilir. Otuz yıl süren, sürüyle karmaşık hesap içeren, sürekli ve zor bir çalışmadan bahsediyoruz. Gelir vergisi için gereken formlar üzerinde bir hafta boyunca, her gün ve bütün gün çalıştığınızı ama yine de hesapların tutarlılığını sağlayamadığınızı düşünün. Bir yerde bir hata var ama onu bulamıyorsunuz. Şimdi bu şekilde geçen bir ay düşünün. Buna bir yıl boyunca dayanabilir misiniz? Şimdi yirmi yılı hayal edin. Şimdiyse dünya çapında bu şekilde çalışan birkaç düzine insanı düşünün. Bazıları birbiriyle arkadaş bazıları diğerlerinin rakibi... Her biri hesabın tutarlı olması için farklı bir fikre sahip. Bu ana kadar bütün bu fikirler sonuçsuz kaldı. Ama belki de biraz değişiklikle ya da iki yaklaşımı beraber kullanarak bir şeyler yapabileceğinizi düşünürsünüz. Sonuçta yılda bir ya da iki kere uluslararası bir toplantıya giderek buluşunuzu diğer fanatiklere sunarsınız. İşte 1984'ten önce kuantum kütleçekim böyle bir araştırma alanıydı.

Richard Feynman graviton problemiyle uğraşan ilk fizikçilerden biriydi. Neden olmasın? QED üzerine o kadar harika işler yapmıştı ki aynı metotları kuantum kütleçekim için kullanmasını ne engelleyebilirdi? Böylece 1960'ların başında parçacık fiziğinden biraz uzaklaşıp kütleçekimi kuantumlandırmaya çalıştı. O sıralarda kuantum kütleçekimin ne kadar ıssız sularda yol aldığını size biraz olsun anlatabilmek için Feynman'ın 1962 yılında çalışmalarını paylaşmak üzere Varşova'da katıldığı bir toplantı hakkında eşine yazdığı bir mektuptan alıntı yapmak istiyorum:

> Bu toplantıdan hiçbir kazancım olmuyor. Hiçbir şey öğrenemiyorum. Deney yapılamadığı için, alan aktif değil ve en iyiler içinden sadece birkaç kişi bu konuda çalışıyor. Hal böyle olduğu için de burası bir sürü budalayla dolu ... ve bu tansiyonuma hiç iyi gelmiyor. Bana bir daha hiçbir kütleçekim konferansına gelmemem gerektiğini hatırlat.[4]

Yine de Feynman iyi çalışmalar yaptı ve olasılıklarla ilgili teknik bir ayrıntıya netlik kazandırdı. Olasılıklar 0 ve 1 arasında bulunan sayılardır. Gerçekleşmesi kesin olan bir olayın olasılığı 1'dir, yani en azından *herhangi* bir şeyin olma olasılığı da 1'dir. Feynman çalışmasını yapmadan önce kimse kuantum kütleçekim kuramlarında gerçekleşmesi mümkün tüm olayların olasılıklarının toplamını 1 verecek şekilde hesap yapmayı bilmiyordu. Aslında, Feynman olasılıkların toplamının 1 vermesini sadece ilk yaklaşıklık çerçevesinde sağlayabilmişti; birkaç yıl sonraysa Bryce DeWitt bunu her seviyede sağlamanın bir yolunu buldu. Bir yıldan biraz az zaman sonraysa aynı yöntem iki Rus fizikçi, Ludwig Dmitrievich Faddeev ve Viktor Nicolaevich Popov tarafından tekrar keşfedildi. DeWitt'in çalışmasından haberdar olamazlardı çünkü dergi onun makalesini gözden geçirmesi için bir uzmana yollamış ve bu kişi makaleyi incelemek için bir yıldan fazla zaman harcamıştı. Yani insanlar yavaş ya-

[4] Richard P. Feynman, ***What Do You Care What Other People Think?*** (New York: W. W. Norton, 1988), s. 9. [***Başkalarının Ne Düşündüğünden Sana Ne***, Lale Aykent Tunçman-Tuna Aykent Tunçman, Alfa Bilim Dizisi, 2013.]

vaş konu hakkındaki problemleri çözmeye devam ediyorlardı. Yine de olasılıkların toplamının 1 olması sağlansa bile graviton kuramı asla bir bütün olarak başarılı olmadı.

Bu işten kaynaklanan yan ürünler yok değildi. Aynı yöntemleri standart modelin temel taşlarından Yang-Mills kuramlarına uygulamak mümkün olmalıydı. Kısacası Steven Weinberg ve Abdus Salam zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri bu kuramları kullanarak birleştirdiğinde detaylı hesaplar yapmak için gerekli teknikler hazırda duruyordu. Bu tekniklerin standart modelde kullanılması kuantum kütleçekimdekine kıyasla çok daha verimli oldu. Hollandalı fizikçi Gerard 't Hooft'un 1971'de ispatladığı gibi Yang-Mills kuramları tamamen anlamlı kuantum kuramlarıdır. Aslında, kendinden öncekilerin yaptığı gibi, 't Hooft da Yang-Mills kuramları üzerine yaptığı çalışmaları, kısmen de olsa, kuantum kuramları üzerinde yapılacak ilerideki araştırmalara temel sağlayacak alıştırmalar olarak görüyordu. Kısacası, kuantum kütleçekim üzerine yapılmış otuz yıllık uzun çalışmalar tamamen boşa gitmiş sayılmazdı; en azından sağlıklı bir şekilde parçacık fiziği yapmamıza olanak tanıdılar.

Ama kuantum kütleçekimini kurtarmanın bir yolu yoktu. İnsanlar çeşitli yaklaşıklık yöntemleri denediler. Parçacık fiziğinin standart modeli anlamlı bir kuram olduğundan ayrıntılarını araştırmak için bir birçok yeni yöntem keşfediliyordu. Bütün bunlar tek tek kuantum kütleçekim alanında kullanıldı. Hepsi başarısızlıkla sonuçlandı. Kütleçekim dalgalarının kuantum kuramını nasıl kurarsanız kurun, etkileşmeleri de dahil ettiğinizde sonsuz büyüklükler ortaya çıkıveriyordu. Problemi ne şekilde evirip çevirseniz sonsuzlukları kontrol altına almak mümkün olmuyordu. Daha çok yıl, daha fazla makale, daha fazla doktora tezi, konferanslarda sunumlar... Ama sonuç, aynı durum. Yani 1974'te ardalana bağımlı yaklaşımın tutarlı bir kuantum kütleçekim kuramı oluşturmak için anlamlı bir yol olmadığı açıklık kazanmıştı.

Yine de ardalana bağımlı metotlarla yapılabilecek bir şey vardı. Kütleçekimi kuantize etmek yerine, problemi tersine çevirip kütleçekimin kuantum kuramı üzerindeki etkisini araştı-

rabilirdik. Bunu yapmak içinse kara delikler ya da genişleyen evren gibi kütleçekimin önemli olduğu uzayzamanlar içinde hareket eden kuantum parçacıklarının fiziğini çalışabilirdik. 1960'lardan başlamak üzere bu yaklaşım üstünde oldukça çaba gösterilmiştir. Bunun önemli bir araştırma alanı olduğunu söyleyebiliriz çünkü bulmacalara yol açan bazı keşiflere kaynak olmuştur Bu bulmacaları çözmeye talip fikirlerden birisi sicim kuramıdır.

Bu alandaki ilk başarı hızla değişen kütleçekim alanlarının temel parçacıkların yaratılmasına yol açacağının keşfidir. Bu fikri evrenin hızlıca genişlediği erken dönemlerine uyguladığımızda bugün bile geçerliliğini koruyan öngörülere varırız.

Bu hesaplamaların ümit verici başarısı üzerine birkaç fizikçi daha zor bir problem olan kara deliklerin kuantum parçacıkları ve alanları üzerindeki etkisini çalışmaya başladılar. Buradaki zorluk şudur: Kara deliklerin içinde uzayzamanın hızla değiştiği bir bölge var olmasına rağmen bu bölge olay ufkunun içinde yer alır. Olay ufku ya da kısaca ufuk, durağan halde ve ışıktan oluşmuş bir yüzey gibidir. Ufkun içerisindeki bütün ışık kara deliğin merkezine doğru çekilir. Yani ışık ufuktan dışarı kaçamaz. Dışardan bakıldığında bir kara delik durağanmış gibi gözükür, ama ufkun içindeki bölgede her şey şiddeti gitgide artan bir kütleçekim alanına doğru düşer. Bunlar bir tekillikte nihayete erer. Tekillikte her şey sonsuzdur ve zaman durmuştur.

Kara delikleri kuantum kuramıyla ilişkilendiren ilk hayati bulguyu 1973 yılında Princeton'da çalışan John Archibald Wheeler'ın İsrailli öğrencisi Jacob Bekenstein gerçekleştirmiştir. Bekenstein, kara deliklerin bir entropisi olduğu keşfinde bulundu. Entropi düzensizliğin bir ölçütüdür ve termodinamiğin o ünlü ikinci yasası uyarınca kapalı bir sistemin entropisi kesinlikle azalamaz. Bekenstein, bir kutu sıcak gazı alıp bir kara deliğe atarsak evrenin entropisinin sanki azalıyormuş gibi gözükebileceğini anladı. Sıcak bir gazın entropisi yüksektir çünkü moleküllerin hareketi düzensiz ve rastgeledir. Aynı zamanda kara deliğe düştükten sonra gazı geri çıkarmak mümkün olmadığından entropi sanki azalmıştır. İkinci yasa-

yı kurtarmak için Bekenstein kara deliklerin de entropisi olması gerektiğini önerdi. Buna göre içine gaz düştüğünde kara deliğin de entropisi artacaktı ve evrenin entropisinin azalışı engellenmiş olacaktı. Bazı basit örneklerle çalışarak bir kara deliğin entropisinin etrafındaki olay ufkunun alanına orantılı olduğunu gösterdi.

Bu bir bilmeceydi. Entropi düzensizliğin bir ölçüsüdür ve rastgele hareket ısı demektir. Bu durumda bir kara deliğin sıcaklığından da bahsedemez miydik? Bir yıl sonra, 1974'te, Stephen Hawking kara deliklerin bir sıcaklığı olabileceğini gösterdi. Aynı zamanda kara deliklerin entropisi ve ufuk alanları arasındaki orantının katsayısını da bulmayı başardı.

Hawking'e göre kara deliklerin sıcaklığı kütleleriyle ters orantılıdır. Bu da onların sıradan nesnelerden çok farklı davrandığı anlamına gelir. Birçok şeyi ısıtmak için onlara enerji vermemiz gerekir. Ateşe *yakıt* atarız. Kara delikler için bunun tersi geçerlidir. Eğer bir kara deliğe enerji ya da kütle eklerseniz kara deliğin kütlesi artacaktır ve bu durumda daha soğuk olur.[5] Bu sonuç ilerideki tartışmalarımız için önemli olacak.

Bu gizemli sonuç daha sonrasında yapılan bütün kuantum kütleçekim önerileri için bir meydan okuma içeriyordu: Kara deliklerin sıcaklığını ve entropisini daha temel seviyede açıklamak için ne tür ilkelere ihtiyaç vardır? Bekenstein ve Hawking kara delikleri, üzerinde kuantum parçacıklarının hareket ettiği klasik ve sabit ardalan geometrileri olarak ele alıyorlardı, hesapları ve iddiaları bilinen yasalar arasında tutarlılık sağlamaya dayanıyordu. Kara deliği bir kuantum mekaniksel sistem olarak ele alamıyorlardı, çünkü bunun için uzayzamanın kuantum kuramına ihtiyaç vardır. Kısacası Bekenstein entropisi ve Hawking sıcaklığı her kuantum kütleçekim kuramının daha derin bir şekilde açıklaması gereken kavramlardır.

---

[5] Aslında bu sonuç, yıldızlar ve galaksiler gibi kütleçekim aracılığıyla bir arada duran sistemlerin genel bir özelliğidir. Bütün bu sistemler enerji eklendiğinde soğumaya başlar. Kütleçekimin etkili olduğu ve olmadığı sistemler arasındaki bu temel fark fiziği birleştirmenin önündeki aşılması zor sorunlardan biridir.

Takip eden yıl içinde Hawking bu sonuçların içindeki bir bulmacayı daha fark etti. Eğer kara deliğin sıcaklığı varsa, sıcak her nesne gibi ışıma yayması gerekir. Fakat radyasyon kara deliğin enerji kaybetmesine yol açar. Yeteri kadar zaman geçtiğinde kara deliğin tüm kütlesi ışınıma dönüşmüş olacaktır. Kütle kaybettikçe kara delik hafifleşir. Ama biraz önce gördüğümüz gibi kütle kaybedince ısınır ve gitgide daha hızla ışıma yayar. Bu sürecin sonunda kara deliğin kütlesi Planck seviyesine kadar iner ve bundan sonrasını çalışmak için kütleçekimin kuantum kuramına gereksinim duyarız.

Sonucu ne olursa olsun, bilginin kaderi hakkında bir gizemle karşı karşıyayız. Hayatı boyunca bir kara delik büyük miktarlarda maddeyi içine çekmiş olmalıdır, bütün bu madde fazlasıyla içsel bilgi içerir. Ama sonunda elimizde bir dolu sıcak ışıma ve ufacık bir kara delik kalacaktır. Sıcak ışıma rastgele olduğundan bilgi içermez. Bilgi kaybolup gitmiş midir?

Bu kuantum kütleçekim için mutlaka çözülmesi gereken bir bilmecedir, çünkü kuantum mekaniğine göre bilgi kesinlikle yok olamaz. Dünyamızın kuantum kuramının kesin olması gerekir ve buna göre bütün ayrıntılar ele alındığında bilginin kaybından bahsedilemez. Hawking kara deliklerin ışıma sonucunda bilgi kaybettikleri üzerine güçlü bir uslamlamada bulunmuştur. Bu kuantum kuramıyla ters düşmektedir ve bu yüzden de bu duruma *kara delik bilgi ikilemi* denir. İddialı her kuantum kütleçekim kuramı bu ikileme bir çözüm sunmalıdır.

1970'lerde yapılan bu keşifler kuantum kütleçekim kuramının araştırılmasında kilometre taşları oluşturmuştur. O zamandan beri kuantum kütleçekim üzerine önerilen her yaklaşımın başarısı kara deliklerdeki sıcaklık, entropi ve bilgi kaybı üzerine ne tür cevaplar getirdiği üzerinden ölçülür oldu.

Aynı yıllarda, kuantum kütleçekim üzerine yeni bir fikir daha öne sürülmüştü. Bir süre işe yarar gibi gözüktü. Fikrin özünde süpersimetriyi kütleçekime uygulamak vardı. Bu kurama süperkütleçekim denir.

Bu kuram üzerine yapılan ilk sunumlardan birini ben de izlemiştim. 1975 yılında genel görelilik üzerine Cincinnati'de ya-

pılmış bir konferanstaydık. O sırada hâlâ Hampshire Kolejinde bir lisans öğrencisiydim ama yine de insanların fikirlerini öğrenme amacıyla konferansı izlemeye karar vermiştim. Chicago Üniversitesinde çalışan ve o sıralar alanın parlayan bir yıldızı olarak görülen Robert Geroch'un sonsuz uzayların matematiği üzerine verdiği o güzel dersleri şimdi bile hatırlıyorum. Bir keresinde zarif bir ispat sonunda ayakta alkışlanmıştı. Konferansın sonundaki sunumlardan biri genç bir doktora sonrası araştırmacısı Peter van Nieuwemhuizen'in konuşmasıydı. Çok sinirli olduğunu hatırlıyorum. Sunumuna yepyeni bir kütleçekim kuramı önereceğini söyleyerek başladı. Tüm ilgimi çekmişti.

Van Nieuwenhuizen kuramının o sıralar yeni bir fikir olan ve fermiyonlarla bozonları birleştiren süpersimetri üzerine kurulduğunu söyledi. Kütleçekimin kuantum parçacıklarına graviton denir ve bunlar birer bozondur. Ama bir kuramın süpersimetriye sahip olabilmesi için fermiyonları da içermesi gerekir. Genel görelilik kuramında fermiyonlar bulunmaz, bunun için gravitonların süper eşi olacak yeni fermiyonların varlığını kabul etmemiz gerekir. Bunlara gravitino diyoruz.

Van Nieuwenhuizen "Gravitino daha gözlenmemiştir o yüzden uyacağı yasaları icat etmekte özgürüz" demişti. Kuramın süpersimetriye sahip olabilmesi için gravitonları gravitinolarla değiş tokuş ettiğimizde kuvvetlerin değişmemesi gerekir. Bu şart, yasalar üzerine yeterince kısıt getirir. Bu kısıtları sağlayan çözümlere ulaşmak için haftalar süren zor hesaplamalar gerekir. İki farklı araştırma grubu hemen hemen aynı anda çözüme ulaşmışlardı. Van Nieuwenhuizen bu gruplardan birinde çalışıyordu, diğeriyse daha sonra Harvard'da danışmanım olacak Stanley Deser'in grubuydu: süpersimetriyi icat edenlerden biri olan Bruno Zumino ile beraber çalışıyordu.

Van Nieuwenhuizen aynı zamanda bu kuramı algılamanın daha derin bir yolundan da bahsetti. İşe uzay ve zamanın simetrileri üzerine düşünmekle başlayabiliriz. Bildiğimiz uzayın özellikleri döndürmeler altında değişmezdir, çünkü tercih edilen bir özel yön yoktur. Bu yapı bir yerden bir yere gitsek de değişime uğramaz, çünkü uzay her noktada aynıdır. Böyle-

likle döndürmeler ve ötelemeler uzayın simetrilerini oluşturur. Hatırlarsanız 4. Bölümde ayar ilkesini anlatmıştım, buna göre simetrinin yapısı kuvvetlerin uyduğu yasaların şekline kısıtlar getirir. Ayar ilkesini uzayın ve zamanın simetrilerine de uygulayabiliriz ve tam olarak Einstein'ın genel görelilik kuramına varırız. Einstein kuramına bu şekilde ulaşmadı ama eğer Einstein yaşamasaydı belki de genel görelilik bu yolla keşfedilecekti.

Van Nieuwenhuizen süpersimetrinin uzayın simetrilerinin genişletilmesi olarak da görülebileceğini anlattı. Bunun sebebi harika bir matematiksel sonuca dayanıyordu: süpersimetrik bir kuramda fermiyonları ve bozonları değiş tokuş ettiğinizde en baştaki dünyanın aynısına varırız fakat her şey biraz ötelenmiş olur. Burada bunu ayrıntılı olarak anlatamam ama bu bize süpersimetrinin uzayın geometrisiyle yakın bir bağı olduğunu söyler. Sonuç olarak ayar ilkesini süpersimetriye uygularsanız bir kütleçekim kuramına varırsınız: süper-kütleçekim. Bu şekilde baktığımızda süper-kütleçekim genel göreliliğin engin bir şekilde derinleştirilmesidir.

Fiziğe yeni başlamıştım, konferansa öylesine katılmıştım. Kimseyi tanımadığım için diğerlerinin Van Nieuwenhuizen'in konuşması hakkında ne düşündüğünü bilmiyordum ama ben çok etkilenmiştim. Eve döndüğümde onun sinirli olmasının çok doğal olduğunu düşündüm çünkü eğer söyledikleri doğruysa son derece önemliydiler.

Lisansüstü eğitiminin ilk yılında Stanley Deser'den süper-kütleçekim üzerine bir ders aldım. Merakım uyandı ve konu üzerine düşünmeye başladım, ama şaşkınlık içindeydim. Ne anlama geliyordu? Bize ne söylemek istiyordu? Aynı dersi alan bir arkadaşım Martin Rocek de heyecan içindeydi. Çabucak Stony Brook'ta çalışan Peter van Nieuwenhuizen ile ilişkiye geçip o ve öğrencileriyle beraber araştırma yapmaya başladı. Stony Brook uzak sayılmazdı ve bir gün Martin beni oraya götürdü. İşler ciddi bir şekilde gelişiyordu ve Martin bana gelişmelerin merkezinde olmam için bir şans vermek istiyordu.

Bu, Microsoft ya da Google'daki ilk iş tekliflerinden birini almak gibiydi. Rocek, Van Nieuwenhuizen ve orada tanıştığım

insanlardan birçoğu süpersimetri ve süper-kütleçekim üzerine başarılı meslek hayatlarına sahip oldular. Eminim ki onların gözünden bakıldığında aptalca davranıp parlak bir fırsatı tepmiştim.

Benim (ve eminim diğerleri) için, süpersimetrinin bir uzay-zaman kuramıyla birleştirilmesi derin sorulara yol açıyordu. Genel göreliliği Einstein'ı okuyarak öğrenmiştim ve anladığım tek bir şey varsa o da kuramın kütleçekimi uzay ve zamanın geometrisiyle birleştirdiğiydi. Bu fikir iliklerime kadar işlemişti. Şimdiyse doğanın bir diğer yüzünün, fermiyonların ve bozonların varlığının uzay ve zamanla birleştirildiğinden bahsediliyordu. Arkadaşlarımın iddiası buydu ve denklemler de aynı şeyi söylüyordu. Ama ne arkadaşlarım ne de denklemler bunun anlamını açıklamakta yeterli olabiliyordu. Bunun ne olduğunun ve ne anlama geldiğinin algısı kayıp gibiydi. Bu birleştirmenin sonucunda, uzay ve zaman, kütleçekim, fermiyonlar ve bozonlar üzerine olan anlayışımızın derinleşmesi gerekirdi. Sadece matematik yeterli olamazdı, doğa hakkındaki temel kavramlarımız değişmeliydi.

Ama değişmedi. Van Nieuwenhuizen'in öğrencileriyle geçirdiğim zaman sonucunda onların gece gündüz kendinden geçmiş bir şekilde hesaplara gömülen zeki ve teknik eğilimli insanlar olduklarını gördüm. Yaptıkları şey değişik süper-kütleçekim kuramları bulmaktı. Her yeni kuram bir öncekinden daha fazla simetri içeriyor ve daha fazla parçacığı bir araya getiriyordu. Amaçları bilinen bütün parçacıkları içerebilecek nihai kurama erişmekti. Bu kuramın çok teknik bir adı vardı: *N=8 kuramı*. Burada *N* fermiyonları ve bozonları birbirine dönüştürmenin kaç değişik yolu olduğunu gösteren sayıydı. İlk kuram, Van Nieuwenhuizen ve Deser aracılığıyla öğrendiğim, aynı zamanda en basit kuramdı: *N*=1 kuramı. Avrupa'da çalışan bazı diğer araştırmacılar *N*=2 kuramını bulmuşlardı. Stony Brook'u ziyaret ettiğim hafta esnasında oradakiler *N*=4 üzerine çalışıyorlardı ve bundan sonra *N*=8 kuramına yönelmeyi amaç edinmişlerdi.

Gece günüz çalışıyorlar, yemekleri dışardan sipariş ediyorlar ve bu dünyayı değiştirecek yeni bir kuramın peşinde olduk-

larından uçarı bir şekilde emin olduklarından bu yorucu işle başa çıkabiliyorlardı. Bunlardan birisi bana yapabildiği en hızlı şekilde çalıştığını çünkü kuram türetmenin bu kadar kolay olduğu duyulduğunda herkesin bu konuya yöneleceğini söylemişti. Gerçekten de, eğer doğru hatırlıyorsam, bu grup N=4 kuramını buldu ama N=8 için geç kaldılar.

Yaptıkları şey bana hiç de kolay gelmiyordu. Hesaplamalar son derece zihin yorucu ve karışıktı. Mutlak bir kesinlik gerekiyordu: Eğer bir yerde bir 2 çarpanı unutulmuşsa haftalar boyu sürmüş hesaplar çöpe gidiyordu. Hesabın her satırında düzinelerce terim vardı. Hesapları sayfaya sığdırmak için gitgide daha büyük kağıtlar üzerine yazmaya başlamışlardı. Kısa zaman içinde de ellerinde bulabildikleri en büyük boyda, devasa sanat defterleriyle dolaşır olmuşlardı. Bunların her sayfasını, minicik ama kusursuz el yazısı hesaplarla dolduruyorlardı. Her defter aylarca süren hesaplamalara karşılık geliyordu. İnsana manastırları çağrıştırıyordu. Dehşete düşmüştüm. Bir hafta kaldıktan sonra oradan kaçtım.

Bunu izleyen on yıllar boyunca Peter, Martin ve diğerleriyle olan ilişkilerim hep sıkıntılı oldu. Belki de süpersimetriyi kurma çabalarına dahil olmam için yaptıkları teklifi reddedip kaçtığımdan beni önemli bir fırsatı ziyan etmiş biri olarak görüyorlardı. Eğer onlara katılmış olsaydım, büyük olasılıkla sicim kuramının öncülerinden biri olarak anılabilirdim. Bunun yerine kendi yolumu seçmeyi tercih ettim ve kuantum kütleçekim problemine başka bir yaklaşımın keşfedilmesine yardımcı oldum. Bu işleri daha da karıştırdı: Sadece hakikati terk etmiş ziyankâr biri değildim aynı zamanda bir rakip olarak algılanma tehlikesiyle de karşı karşıyaydım.

Son otuz yılda tanıdığım insanların mesleki hayatlarını göz önüne aldığımda gitgide bu mesleki kararların insanların şahsiyetine bağlı olduğunu düşünmeye başladım. Bazıları en yeni konuya seve seve girip, ellerinden geleni yapıp bu hızla ilerleyen alanlara önemli katkılarda bulunurlar. Bazılarınınsa buna uygun bir yaklaşımı yoktur. Bazı insanlar her şey üzerine uzun uzadıya düşünmeyi, ki bu zaman alır, tercih ederler ve bunların

kafası aynı zamanda oldukça kolay karışır. Böylelerinin karşısında üstünlük taslamak hiç de zor değildir, ta ki Einstein'ın da böyle biri olduğu size hatırlatılana kadar. Benim deneyimlerime göre, gerçekten yaratıcı ve şaşırtıcı yeni fikirler böyle insanlardan çıkar. Diğer bir grupsa –ben bu üçüncüye dahilim– sadece kendi yollarında yürür ve insanların sadece yenen tarafta olmak için bir fikri izlemesine gücendiklerinden bazı alanlardan uzak dururlar. Bu yüzden artık diğer insanların yaptıklarıyla hemfikir olmadığım zaman buna aldırmıyorum, çünkü insanların yaptıkları bilim şeklinin kendi mizaçlarıyla belirlendiğini biliyorum. Hem bu çeşitlilik bilimin ilerlemesi için bir avantaj da oluşturur. İyi bilimin kendilerine uygun konulara yönelenler tarafından yapıldığını düşünüyorum.

Stony Brook'taki gruptan kaçtım ama süper-kütleçekim üzerine olan ilgimi kaybetmedim. Aslında tam tersine, ilgim artmıştı. Bir şeylere varmak üzere olduklarını düşünüyordum ama oraya varmak için seçtikleri yolu izleyemezdim. Einstein'ın kuramını anlıyordum: Bütün temel özelliklerini bir sayfadan daha kısa bir yere sığdırarak açık ve net bir şekilde gösterebilirdim. Bana, bir kuramı gerçekten anlıyorsanız esas değerini anlamak için sanat defterleri üzerine haftalarca hesap yapmanız gerekmemeli gibi geliyordu.

John Dell Hamshire Kolejinden benim gibi lisansüstü öğrencisi olan bir arkadaşımla beraber çalışmaya başladık. Süpersimetrinin uzayın ve zamanın geometrisine nasıl bağlı olduğunu daha derinden anlamak istiyorduk. John, Bertam Konstant'ın bir makalesini buldu. Orada Einstein'ın kullandığı matematiği genelleştiren ve fermiyonlara benzer yeni öğeler içeren bir geometriden bahsediliyordu. Bu yeni yaklaşım içinde Einstein denklemlerini yazdığımızda süper-kütleçekim denklemlerinin elde edildiğini gösterdik. İlk bilimsel makalemizi yazmıştık.

Yaklaşık olarak aynı zamanda diğer bazı araştırmacılar adına süpergeometri dedikleri, süper-kütleçekim kuramının geometrisi üzerine yeni bir yaklaşım içeren bir kavram geliştirdiler. O sıralar oluşturdukları kurgunun bizimkine kıyasla hantal olduğunu düşünmüştüm. Bugün de böyle düşünüyorum. Çok

daha karmaşık bir yapıydı ama bazı durumlarda çok daha iyi işliyordu. Hesapları biraz daha kolaylaştırıyordu ve bunun için de haliyle takdir edildi. Böylelikle süpergeometri tutuldu ve bizim makalemiz unutuldu. John ve ben buna pek aldırmadık, iki yöntem de bize istediğimizi tam olarak vermemişti. Matematik gayet iyi çalışmasına karşın yeni kavramsal sıçramalar sağlamıyordu. Bugün dahi, kimsenin süpersimetrinin ne olduğunu bildiğini ve eğer doğruysa doğa hakkında ne söylediğini anladığını sanmıyorum.

Bunca yıl geçtikten sonra beni en başlarda süper-kütleçekim kuramlarından iten şeyin ne olduğunu artık tam olarak ifade edebileceğimi sanıyorum. Fiziği Einstein'ın orijinal eserlerini okuyarak öğrenmiştim ve bunun sonucunda da devrimsel ilerlemeler sağlayabilecek yeni birleştirmelerin içeriği hakkında bir hisse sahip olmuştum. Yeni bir birleştirmeden beklediğim şey, tıpkı eylemsizlik ya da eşdeğerlik ilkeleri gibi derin bir fikirden yola çıkabilmesiydi. Bu derin ve şaşırtıcı yeni ilkenin ışığındaysa daha önceleri ayrık gözüken iki şeyin temelde aynı olduklarını anlamalıydık. Enerji kütledir. Hareket ve hareketsizlik ayrıştırılamaz. İvmelenme ve kütleçekim aynı şeydir.

Süper-kütleçekim bunu sağlamıyordu. Yeni bir birleştirme önerisi olmasına rağmen sadece sıkıcı ve akıl durduran hesaplar sonucu ifade edilip sınanabiliyordu. Matematiğin üstesinden gelebiliyordum ama bu Einstein ve diğerlerini okuduğumda fark ettiğim bilim yapma şekline hiç benzemiyordu.

O zamanlar tanıştığım diğer bir arkadaşım da, benden biraz daha büyük olan ve benim gibi Stanley Deser'in öğrencisi olan Kellogg Stelle'ydi. Deser'le beraber süper-kütleçekimin kuantum halinin genel göreliliğin kuantum halinden daha iyi davranıp davranmadığını araştırıyorlardı. O sıralar ardalandan bağımsız yaklaşımlar daha geliştirilmemiş olduğundan, genel göreliliğe uygulandığında son derece başarısız olmuş, ardalana bağlı yöntemleri süper-kütleçekime uygulamayı denediler. Bunların süper-kütleçekimde daha iyi işlediğini çok geçmeden gördüler. Kuantum genel göreliliğinde sonsuzlukların ilk defa ortaya çıktığı hesabı yeni kuramda tekrarladıklarında sonlu bir sayı buldular.

Bu iyi bir haberdi: süpersimetri işleri gerçekten de daha iyi hale getiriyordu! Ama bu sevinç havası uzun sürmedi. Sadece birkaç ay sonra Deser ve Stelle sonsuzlukların süper-kütleçekim kuramında da ortaya çıktığını gösterdi. Gerekli hesaplar, aylar boyu sanat defterleri doldurulsa bile bitirilemeyecek kadar zordu. Buna rağmen sonuçların sonsuz olup olmayacağını anlamalarını sağlayacak bir sınama yöntemi buldular. Bunu kullanarak yaptıkları sonlu çıkmış ilk hesaptan daha iyi bir yaklaşıklık içerecek diğer adımlardaki her hesabın sonsuzluklar içereceğini gösterdiler.

İşleri henüz bitmemişti; diğer bütün süper-kütleçekim kuramlarının aynı şekilde sınanması gerekiyordu. Belki de bunlardan bazıları tutarlı bir kuantum kuramı verebilirdi. Birer birer her süper-kütleçekim şeklini sınadılar. Her biri biraz daha sonluydu ve yöntemin sonsuzluk vermesi için daha ileri yaklaşıklık seviyelerinin sınanması gerekiyordu. İlk sonsuzlukla karşılaşıldığında sınama sona ermiş oluyordu çünkü daha ileri seviyedeki yaklaşıklıklarda sonsuzlukların yok olması için bir sebep yoktu. Yine de ünlü $N=8$ kuramının değişik olacağına dair ümitler henüz sönmemişti. Bu kuram sonunda Paris'te yapılan destansı bir çalışma sonucunda oluşturuldu. Fakat testi başarıyla geçemedi. Yine de bazıları umutlarını koruyorlar.

Süper-kütleçekim iyi bir kuramdı, hâlâ da öyle. Ama tek başına kuantum kütleçekim problemini çözmeye yeterli olmadı.

Böylelikle, 1980'lerin başına geldiğimizde kuantum kütleçekim kuramı üzerine henüz bir ilerleme kaydedilmemişti. Denenen bütün yollar, süper-kütleçekim dahil, başarısızlıkla sonuçlandı. Ayar kuramları zaferlere koştukça kuantum kütleçekim alanı durgunlaşıyordu. Kuantum kütleçekim üzerine düşünmekte inat eden benim gibi bir avuç fizikçi kendimizi, kız kardeşlerinin Harvard'dan tıp, nörobiyoloji ve eski Hint dansları tarihi dereceleriyle mezun olmasını seyreden liseden terk insanlar gibi hissediyorduk.

Süper-kütleçekimin iyi bir kuantum kütleçekim kuramına işaret etmemesi bir bunalım sebebi olsa da aynı zamanda özgürleştiriciydi. En basit şeyler denenmişti. On yıllar boyunca

Feynman ve arkadaşlarının yarattığı yöntemleri genişleterek bir kuram oluşturmaya çalışmıştık. Artık dert etmemiz gereken sadece iki şey vardı: Ya sabit bir ardalan geometrisi kavramını ya da sabit ardalan geometrisi içinde hareket eden şeylerin parçacık olduğu kabulünü terk edecektik. Bu iki yol da araştırılmayı bekliyordu ve ikisi de kuantum kütleçekim yolunda –ilk defa olarak– önemli başarılara yol açacaktı.

KISIM II

SİCİM KURAMININ KISA TARİHİ

7. BİR DEVRİME HAZIRLANMAK

Bir problemi onu algıladığımız çerçevede çözemediğimiz bazı durumlarda bilimsel ilerleme durur. Eksik bir unsur vardır, bilmediğimiz bir tür marifet gerekir. Ne kadar denersek deneyelim, birisi o kayıp bağlantıya rastlayana kadar cevabı bulamayız.

Belki de bilim tarihinde buna benzer bir durum ilk defa tutulmalar konusunda oluşmuştur. Gökyüzünün birdenbire kararmasının yarattığı duyguları göz önüne alırsak, antik dönem astronomlarının öncelikli olarak bu olayları anlamak ve öngörmek için çalıştıklarını düşünebiliriz. Binlerce yıl öncesinden başlayarak, insanlar tutulma zamanlarını, güneşin, ayın ve gezegenlerin hareketlerini kaydettiler. Güneşin ve ayın hareketlerinin periyodik olduğunu anlamaları uzun sürmedi; kanıtlar daha mağaralarda yaşarken bile bunu bildiklerini gösteriyor. Ama tutulmalar daha zordur.

İlk astronomlar için bir iki şey açık olmalıydı. Tutulmalar gökyüzünde değişik yollarda gezinen güneşin ve ayın rastlaşmaları sonucunda gerçekleşir. Yolları iki değişik noktada kesişir. Bir tutulma olması için güneşin ve ayın bu noktalardan aynı anda geçmesi gerekir. Kısacası tutulmaları öngörebilmek için güneşin yıllık ve ayın aylık yörüngelerini izlemek gerekir.

Bu ikisini izlemek ve karşılaştıkları yeri not etmek yeterlidir. Böylelikle tutulmaların, ayın hareketinin periyodu olan yirmi dokuz buçuk günlük sürenin belirli bir katı kadar aralıklarla gerçekleşeceğini öne sürebiliriz.

Fakat bu basit yaklaşım yanlıştır: Tutulmalar sadece ayın yörünge periyodunun bir örüntüsü olacak aralıklarla oluşmaz. Bu iki gökcisminin hareketlerini ilintilendirmek amacıyla nesiller boyu çabalayıp başarısız olan kuramcıları hayal edelim. Genel görelilikle kuantum kuramını birleştirme sorunu bize ne kadar zor geliyorsa, tutulma problemi de onlara o kadar zor geliyor olmalıydı.

Eksik bir şeyler olduğunu ilk anlayanın kim olduğunu bilmiyoruz ama ona çok şey borçluyuz. Babilli belki de Mısırlı bir astronomun birdenbire aslında sadece iki değil, üç periyodik hareketin göz önüne alınması gerektiğini anladığını düşünelim. Belki de bilge bir kişiydi verileri yıllarca çalıştıktan sonra onları artık ezbere biliyordu. Ya da belki de isyankâr bir gençti, görünen şeyleri sadece görünen şeylerle açıklamak gerektiği dogmasıyla beyni daha yıkanmamıştı. Kim olursa olsun bu insan veriler içinde üçüncü bir salınım keşfetti. Bu salınım kendini bir ay ya da bir yıl süren aralıklarla değil, yaklaşık olarak on sekiz tam iki bölü üç yıllık bir periyotla tekrar ediyordu. Anlaşıldı ki güneşin ve ayın gökyüzünde karşılaştığı yerler sabit değildi: onlar da dönüyordu ve hareketlerini bu on sekiz küsur yılda tamamlıyorlardı.

Bu üçüncü periyodun –kayıp unsurun– keşfi soyut düşüncenin ilk zaferlerinden biri olmalıydı. İki nesne görüyoruz, güneş ve ay. Her birinin hareketinin erken zamanlardan beri bilinen bir periyodu var. Başka bir şeyin, yörüngelerin kendisinin de döndüğünü anlamak için hayal gücü gerekiyordu. Bunu fark etmek derin bir adımdı çünkü görünen hareketlerin arkasında ancak bunlardan bir çıkarsama yapılarak keşfedilebilecek başka hareketler olduğunu anlamayı gerektiriyordu. Bilimde buna benzer keşifler üzerinden oluşan ilerlemelere, o zamandan bu yana sadece birkaç örnekte rastlıyoruz.

Temel parçacıkların noktasal unsurlar değil de bir sicimin titreşimleri olduğu fikri de böyle enderlikte bir kavrayış olabilir. Bu yaklaşım fiziğin büyük sorunlarının birçoğuna akla yatkın cevaplar veriyor. Eğer doğru olduğu keşfedilirse, yukarıda bahsini ettiğimiz antik keşif kadar etkin olduğunu anlamış olacağız.

Sicim kuramının icadı bilimsel bir devrim olarak anılmıştır, buna rağmen bunun gerçekleşmesi oldukça uzun zaman aldı. Bazı politik devrimlerde olduğu gibi –ama geçmişteki bilimsel devrimlerin aksine– sicim kuramı devrimi, fizik dünyasından göreli olarak yalıtılmış bir öncü kolun uzun süren çabaları sonucu gerçekleşti. İşe 1960'ların sonlarında yeğin kuvvet aracılığıyla etkileşen parçacıkların –kuarklardan oluşan ve yeğin çekirdek kuvvetinden etkilenen proton ve nötron gibi parçacıklar– birbirlerine çarptıklarında ne olduğunu anlamaya çalışarak başladılar. Bu, bahsettiğimiz beş büyük problemden biri değildir, çünkü artık standart model bu olguları açıklıyor, ama standart modelin inşasından önce temel parçacıklar fiziği için merkezi önemdeydi.

Kuarklar sadece proton ve nötronların değil daha birçok parçacığın da yapıtaşlarıdır. Bu diğer parçacıklar kararsızdır ve hızlandırıcılarda yüksek enerjili protonları birbirlerine çarpıştırarak oluşturulurlar. 1930 ve 1960 yılları arasında bunlar gibi güçlü etkileşen birçok parçacığın çarpışmaları hakkında oldukça fazla veri elde edildi.

1968 yılında İtalyan fizikçi Gabriele Veneziano verilerde ilgi çekici bir örüntü keşfetti. Bu örüntüyü, iki parçacığın birbirleriyle etkileştikten sonra değişik açılara saçılmaları olasılığını veren bir bağıntıyla ifade etti. Veneziano'nun bağıntısı verilerin bir kısmıyla dikkate değer bir uyum içindeydi.[1]

Bu Veneziano'nun aynı konuda çalışan Avrupalı ve ABD'li bazı meslektaşlarının dikkatini çekti. 1970 yılında bağıntıyı anlamanın fiziksel bir yolu olduğu keşfedildi. Bu anlayışa göre

---

1 G. Veneziano, "Construction of a Crossing-Symmetric Regge-Behaved Amplitude for Linearly Rising Regge Trajectories," *Nuovo Cim.* 57 A, s. 190-197 (1968).

parçacıklar daha önce hep düşünülmüş olduğu gibi noktasal nesneler değildir. Bunun yerine, tek bir boyutta var olan ve lastik gibi esneyebilen sicimlere benzerler. Enerji kazandıklarında esneyip, kaybettiklerindeyse kısalırlar, yine tıpkı birer lastik şerit gibi. Ve yine lastik şeritler gibi titreşme özelliğine de sahiptirler.

Böylelikle Veneziano'nun bağıntısı, güçlü etkileşim parçacıklarının her birinin hareket ederken titreşebilen, birbirleriyle çarpışıp enerji alış verişi yapabilen birer lastik şeride benzetildiği bir dünyanın kapılarını açtı. Değişik titreşmeler proton çarpışma deneylerinde oluşan değişik parçacıklara denk geliyordu.

Veneziano bağıntısının bu şekilde yorumlanması, Chicago Üniversitesinden Yoichiro Nambu, Niels Bohr Enstitüsünden Holger Nielsen ve şu anda Stanford Üniversitesinde olan Leonard Susskind tarafından birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. Her biri çok önemli bir keşifte bulunduğunu düşünmüştü ama çalışmalarının pek ilgi uyandırmadığını gördüler. Susskind, Physical Review Letters'dan fikrinin yayımlanacak kadar önemli olmadığına dair bir mektup aldı. Daha sonraları bir röportajda da söylediği gibi, "Güm! Sanki kafama bir çöp bidonuyla vurulmuş gibiydim ve çok çok derin bir üzüntü içine düşmüştüm."[2]

Ama birkaç fizikçi ne demek istediklerini anlamıştı ve aynı yol üzerinde çalışmaya başladılar. Belki de buradan çıkan fikirler kümesine *lastik şerit kuramı* denmesi daha yerinde olacaktı, ama bu isim saygınlıktan biraz yoksun olduğundan, doğan şey *sicim kuramı* olmuştu.

Sicim kuramı güçlü etkileşen parçacıkların bir modeli olarak yerini daha sonra standart modele terk etti. Bu sicim kuramının yanlış olduğu anlamına gelmiyordu; güçlü etkileşen parçacıklar gerçekten de sicimlere çok benzer şekillerde davranırlar. 4. Bölümde gördüğümüz gibi kuarklar arasındaki kuvvet artık bir ayar kuramıyla, standart modelin bir parçası olan kuantum

---

2 http://www.edge.org/3rd_culture/susskind03/susskind_index.html

kromodinamiği ya da QCD ile açıklanıyor. Yine de bazı durumlarda kuramdan çıkan sonuçları sanki kuarklar arasında lastik şeritler varmış gibi algılamak da mümkün oluyor. Bu olabiliyor, çünkü yeğin çekirdeksel etkileşme elektromanyetik kuvvetlere hiç benzemiyor. Bu ikincisinin şiddeti uzaklıkla zayıflamasına rağmen, iki kuark arasındaki kuvvet bunları birbirinden ayırmaya çalıştığımızda sabit bir değere doğru artar ve sonrasındaysa ne kadar çekersek çekelim sabit kalır. Bu yüzden hızlandırıcı deneylerinde hiçbir zaman serbest bir kuark yaratamayız: Sadece birbirlerine bağlı kuarklardan oluşmuş parçacıkları gözleyebiliriz. Öte yandan iki kuark birbirlerine yaklaştığında aralarındaki kuvvetin şiddeti azalır. Bu önemlidir çünkü sicim ya da lastik şerit, anlayışı sadece kuarklar birbirlerinden yeteri kadar uzaktaysa geçerli olmaktadır.

İlk sicim kuramcıları bunun farkında değildi. Kuarkların birbirlerine lastik şeritlerle bağlandığı bir dünya tasımladılar, yani sicim kuramını daha derinlerde yatan bir anlayışa yaklaşan bir resim olarak değil de doğanın temel bir kuramı olarak ele aldılar. Sicimleri sicimlerin cinsinden anlamaya çalıştıklarındaysa sorunlar baş gösterdi. Bu sorunlar sicim kuramına uygulamak istedikleri iki mantıklı koşut yüzünden ortaya çıkıyordu: Birincisi sicim kuramı Einstein'ın özel görelilik kuramıyla uyum içinde olmalıydı; yani hareketin göreliliği ve ışık hızının sabit olmasıyla. İkincisiyse kuantum kuramının sicimlere uygulanabilmesi şartıydı.

Birkaç yıl geçtikten sonra bu uyumlulukların gerçekleşmesinin birçok şarta bağlı olduğu anlaşıldı. İlk önce dünyanın yirmi beş boyutlu olması gerekiyordu. İkincisi bir takyon –ışıktan hızlı giden bir parçacık– var olmalıydı. Üçüncüsü sıfır hıza inemeyecek parçacıklar olmalıydı. Bu tür parçacıklara *kütlesiz parçacıklar* diyoruz, çünkü kütle bir parçacığın sıfır hızda sahip olduğu enerjiyle eşdeğerdir.

Dünya yirmi beş boyutluymuş gibi gözükmüyor. Bu kuramın neden ta o zaman oracıkta terk edilmediği bilimdeki en büyük gizemlerden biridir. Yine de 1984'e kadar birçok fizikçi tam da bu yüzden sicim kuramını ciddiye almayı bırakmıştı. Birçok şey

kimin haklı olduğuna bağlı olacak; fazladan boyutları 1984 öncesinde reddedenler mi, yoksa 1984 sonrası onların varlığına kanaat getirenler mi?

Takyonlar da sorunlar yaratıyordu. Daha önce hiç gözlenmemişlerdi; daha da kötüsü varlıkları kuramın kararsız ve hatta tutarsız olabileceğine işaret ediyordu. Öte yandan yeğin kuvvetlerle etkileşen hiçbir kütlesiz parçacık bilinmiyordu. Kısacası sicim kuramı güçlü etkileşmelerin bir modeli olarak başarısız olmuştu.

Dördüncü bir sorun daha vardı. Sicim kuramında birçok parçacık vardı ama resmin içinde doğadaki her parçacık bulunmuyordu. Örneğin fermiyonlar ve bunun sonucunda kuarklar kuramda yer almıyordu. Yeğin kuvvetleri açıkladığını iddia eden bir kuram için devasa bir zayıflık!

Bu dört sorundan üçü tek bir hamleyle çözüldü. 1970'te kuramsal fizikçi Pierre Ramond sicimleri betimleyen denklemleri değiştirerek fermiyonları kurama katmayı başardı.[3] Gördü ki böyle bir kuram ancak yeni bir simetriye sahip olursa tutarlı olabilirdi. Bu simetri eski parçacıkları yenileriyle, yani bozonları fermiyonlarla karıştırıyordu. Pierre Ramond süpersimetriyi bu şekilde keşfetmişti. Sicim kuramının kendi kaderi ne olursa olsun, süpersimetriyi keşfetmenin bir yolunu sağlamıştı. Yani yeni fikirlerin keşfine olanak sağlamak açısından sicim kuramının verimli olabileceği çoktan gösterilmiştir.

Süpersimetrik sicim kuramının çözdüğü iki sorun daha vardı. Yeni haliyle kuramda takyonlar yoktu ve böylelikle kuramın ciddiye alınmamasına yol açan önemli bir engel aşılmış oluyordu. Aynı zamanda kuram artık yirmi beş değil sadece dokuz uzay boyutuna gereksinim duyuyordu. Dokuz üç değildir ama üçe daha yakındır. Zamanı da eklediğimizde süpersimetrik sicim ya da kısaca *süpersicim*, on boyutlu bir dünyada yer alıyor. Ne gariptir ki 10 sayısı aynı zamanda tutarlı bir süper-kütleçekim kuramı yazılabilecek en üst boyut sayısı olan 11'den bir azdır.

---

3 P. Ramond, "Dual theory for free fermions," *Phys. Rev. D*, 3(10), s. 2415-18 (1971).

Hemen hemen aynı zamanda Andrei Neveu ve John Schwarz sicim kuramına fermiyonları eklemenin başka bir yolunu icat ettiler. Ramond'un kuramında olduğu gibi onların yaklaşımında da dokuz uzay boyutu gerekiyordu ve takyonlar yoktu. Neveu ve Shwarz bunun yanında süpersicimleri birbirleriyle etkileştirmenin bir yolunu da keşfettiler ve kuantum mekaniği ve özel göreliliğin ilkeleriyle uyum içinde olan bağıntılar buldular.

Böylelikle bulmacanın çözülmemiş tek parçası kalmıştı. Yeni süpersicim kuramı nasıl hem kütlesiz parçacıklar içerip hem de güçlü etkileşmeleri açıklayabilirdi? Aslında doğada kütlesiz bozonlar mevcuttur. Bunlardan biri fotondur. Bir foton hiç duramaz ve hep ışık hızında hareket eder. Yani kütlesi yoktur ama enerjisi vardır. Aynı şey kütleçekim dalgalarına bağlı olduğu düşünülen graviton için de geçerlidir. 1972 yılında, Neveu ve bir diğer Fransız fizikçi Joel Scherk, süpersicimlerin foton da dahil olmak üzere ayar bozonlarına karşılık gelen titreşim modları olduğunu buldular. Bu doğru yönde bir ilerlemeydi.[4]

Ama iki yıl sonra Scherk ve Schwarz daha da büyük bir adım attılar. Kuramın öngördüğü kütlesiz parçacıklardan bazılarını graviton olarak düşünülebileceğimizi gösterdiler.[5] (Genç Japon fizikçi Tamiaki Yoneya da bağımsız olarak aynı sonuca varmıştı.[6])

Sicim kuramının ayar bozonları ve gravitonlar içermesi her şeyi değiştirdi. Scherk ve Schwarz zaman kaybetmeden sicim kuramının güçlü etkileşmeleri açıklayan bir yaklaşım yerine kütleçekimi ve diğer kuvvetleri birleştiren temel bir kuram olduğunu iddia ettiler. Bunun ne kadar güzel ve basit olduğunu anlamak için foton veya graviton gibi davranan parçacıkların nasıl ortaya çıktıklarına bakalım. Sicimler açık ya da kapalı olabilirler. Kapalı bir sicim bir halka gibidir. Açık bir sicimin bir çizgiye benzer uçları vardır. Foton olabilecek kütlesiz parçacık-

---

[4] Bu konuda etkili olmuş diğer bir makaleyse şuydu: P. Goddard, J.Goldstone, C. Rebbi ve C. Thorn, *Nucl. Phys.*, 56, s. 109-35 (1973).

[5] J. Scherk ve J. H. Schwarz, "Dual Models for Non-Hadrons," *Nucl. Phys. B*, 81(1), s. 118-44 (1974).

[6] T. Yoneya, "Connection of Dual Models to Electrodynamics and Gravidynamics," *Prog. Theor. Phys.* 51(6):1907-20 (1974).

lar açık ya da kapalı sicimlerin titreşimlerinden meydana gelir. Gravitonlarsa sadece kapalı sicimlerin, yani halkaların titreşimleri sonucu oluşur.

Açık bir sicimin uçları yüklü parçacıklarmış gibi davranabilir. Örneğin bir uç elektron gibi negatif yüklüyken diğeri bunun karşı-parçacığı olan pozitron gibi artı yüklü olabilir. Bunları birbirlerine bağlayan sicimin kütlesiz titreşimleriyse bu iki yük arasındaki elektrik kuvveti ileten bir foton gibidir. Böylelikle açık sicimlerden parçacıkları ve bunlar arasındaki kuvvetleri elde edebiliriz. Kuram yeteri kadar ustalıkla oluşturulursa standart modelin tüm parçacıklarını dahil etmek mümkündür.

Eğer sadece açık sicimler varsa graviton yoktur, yani sanki ilk başta kütleçekim dışarıda bırakılmış gibi gözükür. Ama anlaşılmıştır ki kapalı sicimleri eklemek şarttır. Bunun sebebi doğada parçacıklar ve karşı-parçacıklar arasında çarpışmalar olmasıdır. Bunlar birbirlerini yok ederek foton oluştururlar. Sicim dilinde konuşursak bu açık bir sicimin uçlarının bir araya gelmesiyle ve birleşmesiyle gerçekleşir. Uçlar gider ve elimiz de kapalı bir sicim kalır.

Gerçekten de, parçacık karşı-parçacık çarpışmaları ve sicimin kapanması görelilik ilkesi tarafından şart koşulur. Bu da kuramın tutarlılığı için hem kapalı hem de açık sicimlerin var olması demektir. Buradan da kuramın kütleçekimi de içerdiğini çıkarırız. Kütleçekim ve diğer kuvvetler arasındaki değişiklikler açık ve kapalı sicimler arasındaki farkla açıklanabilir hale gelir. Kuvvetleri birleştirme çabaları arasında kütleçekimin merkezi bir rol oynadığı ilk örnek budur.

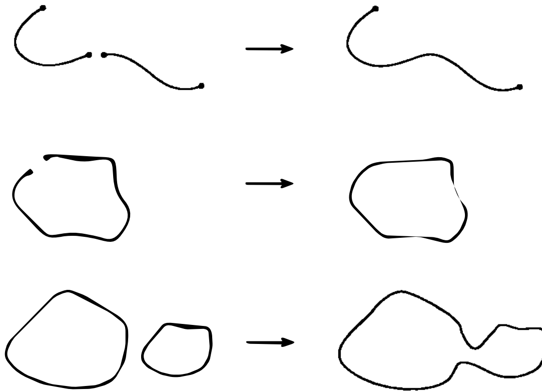
Ne kadar güzel, değil mi? Kütleçekimin tabloya bu şekilde dahil edilmesi zorunluluğu o kadar ikna edicidir ki mantıklı ve zeki biri sadece buna dayanarak, deneysel göstergeler olsun olmasın, kuramın doğru olması gerektiğine inanabilir. Hem de eğer bu insan yıllardır kuvvetleri birleştirmeye çalışıp diğer her fikrin başarısız olduğuna şahit olduysa.

Yine de sorabiliriz, buna yol açan nedir? Sicimlerin uçlarının karşılaşıp birleşmelerini gerektiren bir yasa mı vardır? Kura-

mın en güzel özelliklerinden biri burada yatıyor, bu hareket ve kuvvet kavramlarının bir tür birleştirilmesidir.

Birçok kuramda parçacıkların hareketi ve temel kuvvetler apayrı şeylerdir. Hareket yasaları kuvvetlerin yokluğunda parçacıkların nasıl devindiklerini söyler. Mantıksal olarak hareket yasaları ile kuvvetleri betimleyen yasalar arasında bir bağ yoktur.

Sicim kuramındaysa durum oldukça farklıdır. Hareket yasaları kuvvet yasalarına yol açar. Çünkü sicim kuramında bütün kuvvetlerin tek bir kaynağı vardır: Sicimlerin açılıp kapanması. Sicimlerin serbest şekilde nasıl hareket ettiğini bir kere anladığımızda kuvvetleri betimlemek için eklenmesi gereken tek şey bir sicimin ikiye ayrılabilmesidir. Bu süreç zamanda ters işletirsek iki sicimin tek bir sicim verecek şekilde birleşebildiğini de görürüz (Şekil 5). Uçların kopmasını ve birleşmesini sağlayan yasalar özel görelilik ve kuantum kuramlarıyla uyum sağlayabilmeleri için güçlü bir şekilde kısıtlandırılmıştır. Kuvvet ve hareket kavramı noktasal parçacıklarla uğraşan bir kuramın yapamayacağı bir şekilde birleştirilmiştir.



Şekil 5. *Yukarıda: İki açık sicim uçlarından birleşiyor. Ortada: Bir açık sicim iki ucu birleşerek kapalı bir sicime dönüşüyor. Altta: İki kapalı sicim birleşerek tek bir kapalı sicim oluyorlar.*

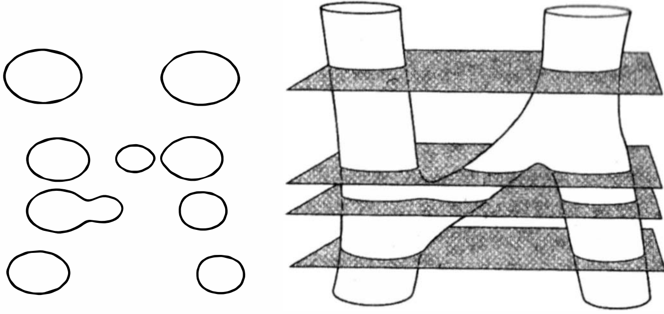
Kuvvetlerin ve hareketin bu tür bir birleştirilmesinin basit bir sonucu vardır. Bir parçacık kuramında, istediğiniz sayıda ve

türde kuvvetler eklemenize ve sonucunda kuramdaki sabitlerin artmasına hiçbir engel yoktur. Ama sicim kuramında sadece iki temel sabit vardır. Bunlardan birine *sicim gerilimi* denir ve sicimlerin birim uzunlukta ne kadar enerjiye sahip olduklarını belirler. Ötekisi *sicim etkileşme sabiti* olarak anılır ve bir sicimin iki sicime ayrılma olasılığına karşılık gelir, bu yüzden boyutsuz, saf bir sayıdır. Fizikteki diğer bütün sabitler bu ikisine bağlı olmalıdır. Örneğin Newton'ın kütleçekim sabiti bunların çarpımına eşittir.

Gerçekte, sicim etkileşme sabiti bir sabit değil fiziksel bir özgürlük derecesidir. Değeri kuramın çözümlerine bağlıdır, bu yüzden de yasaların bir parametresi olmaktan ziyade, çözümleri etiketleyen bir parametre gibidir. Bunu, bir sicimin kırılma olasılığının kuramla sabitlenmek yerine sicimin bulunduğu ortam, yani içinde bulunduğu çok boyutlu dünya, tarafından belirlenmesi olarak da algılayabiliriz. (Sabitlerin kuramla belirlenmek yerine ortamdan etkileniyor olmaları sicim kuramının önemli bir özelliğidir, bunu ilerde tekrar göreceğiz.) Bütün bunlara ek olarak, sicimler basit ve zarif kurallara uyarlar. Bir balonu şişirdiğimizi düşünelim. Genişlerken gitgide mükemmel bir küre olmaya başlar. Ya da bir daha köpük banyosu yaptığınızda köpüklere dikkat edin. Her birinin şekli *köpük yasası* dediğimiz basit bir yasa tarafından belirlenir. Bu yasaya göre bir köpük, üzerindeki kuvvetler ve kısıtlar göz önüne alındığında, mümkün olanlar arasında alanı en küçük çözümün şeklini alacaktır.

Bu ilkenin sicimler için de geçerli olduğu bulunmuştur. Bir boyutlu bir sicim zaman içinde hareket ettiğinde uzayzaman içinde iki boyutlu bir yüzey çizer (Şekil 6). Bu yüzeyin kabaca, uzunluğu ve zamanda işgal etmiş olduğu sürenin çarpımıyla verilen bir alanı vardır.

Sicim bu alanı mümkün olduğu kadar azaltacak şekillerde hareket eder. Bütün yasa bundan ibarettir. Sicimlerin hareketini ve sicimlerin kırılıp birleşmesine izin verdiğimizde de bütün kuvvetlerin varlığını açıklar. Bildiğimiz bütün kuvvetleri ve parçacıkları birleştirir. Ve birleştirdiği unsurların ayrı ayrı uyduğu yasalardan çok daha basittir.



Şekil 6. *Sicimlerin hareketini ve etkileşmelerini veren yasa aynıdır. Bu yasaya göre sicim uzayzamanda çizdiği alan en az olacak şekilde hareket eder. Sağda iki kapalı sicimin bir üçüncü kapalı sicim aracılığıyla etkileşmesini görüyoruz. Soldaysa aynı sürecin değişik zaman dilimlerinde alınan uzay kesitleri çizili. Önce iki kapalı sicim var, sonra biri iki kapalı sicime ayrılıyor. Bu üçüncü sicim daha sonra öbür sicimle birleşip yok oluyor.*

Sicim kuramı aynı zamanda başka bir birleştirmeye de imza atar. 19. yüzyılın başlarında, Michael Faraday, elektrik ve manyetik alanların *alan çizgileriyle* düşünülebileceğini hayal etmişti. Bunları bir mıknatısın kutuplarını ve artı ve eksi yüklü parçacıkları birbirlerine bağlayan çizgiler olarak algılayabiliriz. Faraday için bu çizgiler gerçekti; mıknatıslar ve yükler arasındaki kuvvetlerin esas sebepleriydiler.

Maxwell'in kuramında alan çizgileri alanların karşısında ikincil bir göreve sahiptir, ama böyle olmak zorunda değildir. Alan çizgilerinin gerçek olan tek şey olduğunu ve parçacıklar arasındaki kuvvetlerin bu çizgilerden kaynakladığını düşünmemiz mümkündür. Yalnız bunu klasik kuramlarda değil, ancak kuantum kuramlarında yapabiliriz.

Bir üstün iletkende –elektrik direnci olmayan ya da çok az olan bir malzeme– manyetik alan çizgileri süreksiz bir hal alır. Her çizgi belirli bir minimal ama sıfır olmayan manyetik akı taşır. Bu çizgileri manyetik alanın atomları gibi düşünebiliriz. 1970'lerin başlarında, ileri görüşlü üç kişi aynı fenomene, elektromanyetizmadaki elektrik alan çizgileriyle benzerlikler taşıyan QCD kuvvet çizgilerinde de rastlanabileceğini önerdi.

Danimarkalı fizikçi Nolger Nielsen, sicimlerin kuantumlanmış elektriksel akı çizgileri olarak görülebileceğini gösterdiği için sicim kuramının öncülerinden biri olarak anılır oldu. Bu tablo daha sonra, Cornell'den Kenneth Wilson tarafından geliştirildi ve bundan beridir de kuantumlanmış elektriksel alan çizgilerine Wilson çizgileri denir. Bu buluşlarda rol oynamış üçüncü fizikçi, Rus Alexdander Polyakov'dur. O, belki de ayar ve sicim kuramları arasındaki bağlar üzerine çalışmış en derin düşünürdür. Lisansüstü eğitimim sırasında rastladığım en esin verici konuşmayı Polykov'dan dinlemiştim. QCD'yi kesin olarak çözmek için onu bir sicimler kuramı olarak betimlemeyi düşündüğünü söylemişti: sicimler kuantumlanmış elektriksel akı çizgileri olacaktı.

İleri görüşlü bütün bu insanların ortak noktası, alan çizgilerinin bir ayar kuramındaki temel öğeler olduğunu düşünmeleriydi. Bu çizgiler, yükler arasında nasıl gerilmeleri gerektiğini söyleyen basit kurallara uyuyorlardı. Alanların kendisiyse sadece başka bir bakış açısı olarak görülüyordu. Bu şekilde düşünmek sicim kuramına doğal olarak eklemlenir, çünkü alan çizgilerini sicimler olarak da görebiliriz.

Bütün bunlar betimlemeler arasında bir tür ikilik olduğuna işaret eder: Alan çizgilerinin birincil nesneler olduğunu ve yasaların bunların nasıl hareket edip nasıl gerildiklerini anlattığını düşünebilir ya da alanları esas alıp alan çizgilerinin sadece onları betimlemek için uygun bir yol olduğuna inanabiliriz. Kuantum kuramında iki yol da eşdeğerdir. Buradan *sicimlerin ve alanların ikiliği* ilkesine varırız. İki yol da eşdeğerdir, ikisi de esas olarak alınabilir.

Yale Üniversitesi 1976 yılında –sicim kuramının temel problemlerini çözmesinden birkaç yıl sonra– Pierre Ramond'a işinde kalma ayrıcalığı tanımayı reddetmişti. Anlaşılan meslektaşları, sicim kuramına fermiyonları eklemenin bir yolunu bulmanın, süpersimetriyi keşfetmenin ve takyondan kurtulmanın –hem de bunların hepsini tek hamlede gerçekleştirmenin– bir Ivy League üniversitesinde profesör olmaya yetecek başarılar olduğuna inanmıyorlardı.

1972 yılındaysa, sicim kuramına yaptığı bütün katkılara rağmen, John Schwarz Princeton'dan iş ayrıcalığı alamadı. Bunun üzerine Caltech'e geçti ve orada on iki yıl boyunca, kısa periyotlarla yenilenmesi gereken geçici fonlarla desteklenen bir araştırma ortağı olarak çalıştı. Ders vermek zorunda değildi, ama iş güvencesi de yoktu. Kütleçekim ve diğer kuvvetleri birleştirebilecek ilk iyi fikri keşfetmişti ama gözüken o ki bu Caltech'tekileri onu kalıcı bir kadroya alacak kadar ikna etmemişti.

Sicim kuramını ilk oluşturanların öncü keşifleri yüzünden büyük bir bedel ödemiş oldukları şüphe götürmez bir gerçektir. Bunların ne tür insanlar olduklarını takdir etmek için okurun onların durumlarını gerçek dünya diliyle anlaması gerekir. Lisansüstü eğitiminiz süresince tanıştığınız bütün arkadaşlarınız artık profesör olmuştur. Hepsinin iyi maaşları ve iş güvencesi vardır ve bir aileyi kolayca destekleyebilir hale gelmişlerdir. Seçkin üniversitelerde üst seviye görevlere atanmışlardır. Sizinse hiçbir şeyiniz yoktur. İçten içe bilirsiniz ki, onlar bir şekilde kolay yolu izlerken siz daha fazla cesaret ve yaratıcılık gerektiren ve büyük ihtimal çok daha önemli şeyler yapmışsınızdır. Onlar sürüyü izlemiş ve modaya uygun şeyler yapmış, siz tamamen yepyeni bir kuram türü bulmuşsunuzdur. Ama siz hâlâ sadece bir doktora sonrası araştırmacı ya da bir araştırma ortağı ya da kıdemsiz bir profesörsünüzdür. Uzun vadeli iş güvenceniz yoktur ve geleceğiniz belirsizdir. Yine de bir bilimci olarak belki de daha az risk taşıyan konularda araştırma yapan ve bunun karşılığını da daha fazla güvence olarak alanlardan daha verimlisinizdir; daha fazla makale yazıyor, daha fazla öğrenciye danışmanlık yapıyorsunuzdur.

Şimdi, okurlar, aynı durumda olsaydınız ne yapacağınızı kendinize sorun.

John Schwarz sicim kuramı üzerine çalışmaya ve onun fiziğin birleştirme kuramı olabileceğine dair kanıtlar bulmaya devam etti. Kuramın tutarlılığını[7] daha kanıtlayamamış olsa da

---

[7] Bir kuram eğer birbiriyle çelişen hiçbir sonuca varmıyorsa tutarlıdır. Buna bağlı olan bir başka koşutsa kuramın betimlediği bütün fiziksel büyüklüklerin sonlu sayılarla ifade edilmesi gerekliliğidir.

doğru bir yolda olduğuna kesin gözüyle bakıyordu. Büyük zorluklarla karşılaşmış olmalarına rağmen, ilk sicim kuramcıları temel parçacıkların gerçekten de sicimler olması durumunda bilinen birçok bulmacanın çözüleceği düşüncesinden esin alıyorlardı. Liste oldukça etkileyicidir:

1. Sicim kuramı bütün parçacıkları birleştirir. Aynı zamanda kuvvetleri birleştirir. Bunların hepsi de tek çeşit bir nesnenin titreşimlerinden kaynaklanır.
2. Sicim kuramı bize ayar alanlarını dolaysız olarak verir. Bunlar elektromanyetizma ve çekirdek kuvvetlerini oluşturur ve açık bir sicimin titreşimleri sonucu doğal olarak ortaya çıkar.
3. Sicim kuramı bize gravitonu da dolaysız olarak verir. Graviton kapalı sicimlerin titreşimlerine karşılık gelir ve sicimlerin her kuantum kuramı kapalı sicimleri içermelidir. Bunun sonucunda da kütleçekimin diğer kuvvetlerle birleştirilmesini sağlar.
4. Süpersimetrik bir sicim kuramı bozonları ve fermiyonları da sicimlerin titreşimleri olarak ele alarak birleştirir. Böylelikle bütün parçacıkları ve bütün kuvvetleri birleştirmiş olur.

Öte yandan, sicim kuramı yanlış olsa bile süpersimetrinin doğruluğu mümkün olmasına rağmen, bu simetrinin sicim kuramı içinde çok daha doğal bir yuva edindiğini söyleyebiliriz. Standart modelin süpersimetrik genelleştirmeleri karışık ve çirkin olmalarına rağmen, süpersimetrik sicim kuramları derinlemesine güzel yapılardır.

Bütün bunlardan bile daha önemlisi, sicim kuramı hareket yasalarını ve kuvvetleri tek bir kavram olarak görmemize de olanak sağladı.

İşte sicim kuramının, yerine getirilmesi için bir olanak sağladığı düşünülen hayalimiz: Bütün standart model, içindeki on iki tür kuarkı ve leptonuyla ve üç kuvvetiyle beraber kütleçekimle birleştirilebilir. Bütün bunlar uzayzamanda gerilen ve alanı en aza indirmek gibi basit tek bir kurala uyan sicimlerin titreşiminden kaynaklanabilir. Standart modeldeki bütün sabit-

ler Newton'ın kütleçekim sabiti ve bir sicimin ikiye kırılması olasılığını veren tek bir basit sayıdan oluşturulabilir. Hatta bu ikinci sayı sabit bile olmayıp aslında ortama bağlıdır.

Sicim kuramının böylesine önemli vaatlerde bulunduğunu göz önüne alırsak, Schwarz'ın ve onunla çalışan az sayıdaki meslektaşının neden sicim kuramının doğru olduğuna inandıklarını anlayabiliriz. Birleştirme problemi düşünüldüğünde, başka hiçbir kuram tek bir fikirden yola çıkarak bu kadar geniş sonuçlara varamamıştır. Bu vaatlerin karşısında sadece iki soru kalmıştır: Doğru mu? Ve bedeli nedir?

1983 yılında ben hâlâ Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsünde bir doktora sonrası araştırmacıyken, John Schwarz Princeton Üniversitesinde sicim kuramı üzerine iki ders vermek için davet edilmişti. Daha önce sicim kuramından haberim yoktu ama seminer hakkında hatırladığım en önemli şey, izleyenlerin, ilgi ve kuşku tarafından eşit olarak şekillendiğine inandığım, yoğun ve sinirli tepkiler göstermiş olmasıdır. Daha o sıralarda parçacık fiziğinin önde gelen isimlerinden biri kabul edilen Edward Witten sık sık konuşmayı kesiyor, Schwarz'a devamlı olarak zor sorular yöneltiyordu. Önceleri bunun kuşkuculuktan kaynaklandığını sanmıştım, ancak daha sonraları anladım ki bu Witten'ın konuya duyduğu ilginin bir göstergesiydi. Schwarz'ın kendine güveni tamdı, ama birazcık da olsa dik kafalıydı. Sicim kuramı hakkındaki coşkusunu iletebilmek için yıllardır çaba gösterdiği izlenimine kapılmıştım. Konuşma beni Schwarz'ın cesur bir bilimci olduğu konusunda ikna etti, ama sicim kuramı üzerine çalışmamı sağlayacak kadar inandırıcı olmadı. En azından bir süre herkes bu yeni kuramı göz ardı etti ve kendi işlerine döndü. Alıştığımız tarz fiziğin son günlerini yaşadığımızı pek azımız kavrayabildi.

8. BİRİNCİ SÜPERSİCİM DEVRİMİ

İlk süpersicim devrimi 1984 yılının sonbaharında gerçekleşti. Bu gelişmeyi bir devrim olarak adlandırmak abartılı olsa da terim yerinde sayılır. Bahsettiğimiz zamanın altı ay öncesine kadar konu üzerinde çalışanlar bir avuç yılmaz insandan oluşan bir gruptu. Az sayıdaki bazı meslektaşları dışında onlara önem veren kimse yoktu. John Schwarz kendinin ve o sıralarda beraber çalışmaya yeni başlamış olduğu İngiliz fizikçi Michael Green'in başından geçenleri şöyle anlatıyor, "Konu üzerinde oldukça fazla makale yazmıştık ve her seferinde sonuçlar hakkında bayağı ümitlenmiştim... Her seferinde insanların konunun ne kadar heyecan verici olduğunu görüp artık ilgi duymaya başlayacağını düşünüyorduk. Ama böyle bir tepki oluşmuyordu."[1] Altı ay sonra, sicim kuramının en ateşli eleştirmenleri dahi konu üzerinde çalışmaya başlamıştı. Oluşan yeni ortamda, elindekini bırakıp Green ve Schwarz'ı *izlememek* cesaret gerektiriyordu.

Dönüm noktası, Green ve Schwarz'ın yaptığı ve sonucu sicim kuramının sonsuzluklar içermeyen ve tutarlı bir kuram olduğu hakkında güçlü kanıtlar sunan bir hesaptı. Biraz daha kesinlikle söylersek, en sonunda başardıkları şey, birçok birleştirme kuramını etkileyen ve anomali olarak adlandırılan tehlikeli bir hastalığın süpersicim kuramında, en azından on boyutta, bulunmadığını göstermekti.[2] Bu makalenin hem şok hem de sevinç dalgalarına yol açtığını hatırlıyorum: şok ediciydi çünkü bazıları sicim kuramının kuantum mekaniğiyle tutarlılığının hiçbir seviyede sağlanamayacağını düşünüyordu; sevinç yarattı çünkü

---

1 Sara Lippincott tarafından John Schwarz'la yapılan görüşmeden. Temmuz 21 ve 26, 2000. http://oralhistories.library.caltech.edu/116/01/Schwarz_OHO.pdf.

2 M.B. Green ve J.H. Schwarz, "Anomaly Cancellations in Supersymmetric D=10 Gauge Theory and Superstring Theory," *Phys. Lett. B*, 149 (1-3): 117-22 (1984).

Green ve Shwarz, onların yanıldığını ispatlayarak belki de bütün fiziği birleştirebilecek bir kuramın pek de uzakta olmadığını gösterdi.

Hiçbir değişim bu kadar hızlı olamazdı. Schwarz olayı şöyle anlatıyor:

> Daha yazmayı bitirmeden Ed Witten bizi aradı ve anomalilerin birbirini götürdüğünü bulduğumuzu duyduğunu söyledi. Çalışmamızı ona gösterip gösteremeyeceğimizi sordu. Biz de henüz müsvedde halinde olan makaleyi ona FedEx ile yolladık. O sıralar daha e-mail yoktu ama FedEx vardı. Böylece yolladık ve ertesi gün eline geçti. Sonradan öğrendik ki sonraki gün Princeton Üniversitesi ve İleri Araştırmalar Enstitüsündeki herkes, bütün kuramsal fizikçiler –ki sayıları oldukça fazla– konu üzerine çalışmaya başlamış. Kısacası bir gecede kocaman bir endüstri haline gelmişti [gülüşmeler], en azından Princeton'da; pek zaman geçmeden de tüm dünyada. Bu bize biraz garip gelmişti çünkü yıllardır yazıp duruyorduk ama kimse ilgilenmiyordu. Sonra birden herkes son derece heveslenmişti. Durum bir aşırı uçtan diğerine geçmişti: kimsenin ilgilenmemesinden öbür uca...[3]

Sicim kuramı başka hiçbir kuramın daha önce etmediği vaatlere sahipti: kütleçekimin bir kuantum kuramı ve kuvvetlerin maddeyle gerçek bir birleştirilmesini öneriyordu. Bir hamlede daha önce bahsettiğimiz beş büyük problemin üçünü çözdüğünü vaat ediyordu. Bunca verimsiz çabadan sonra nihayet altın madenine rastlamıştık. (İşin eğlendirici yanı, Schwarz, neredeyse hemen, Caltech'teki kıdemli araştırma doçentliğinden tam zamanlı profesörlüğe atandı.)

Thomas Kuhn, ünlü kitabı *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*'nda bilim tarihinin devrim olarak algıladığımız olayları üzerine yeni bir düşünme şekli göstermişti. Kuhn'a göre bilimsel bir devrimden önce deneysel anomaliler çoğalıp yığılıyordu. Bunun sonucunda da insanlar halihazırdaki kuramı eleştirmeye başlıyor ve bazıları alternatif kuramlar icat etmeye çalışıyorlardı. Deneysel sonuçlar bu yeni kuramlardan birini diğerlerinden ve eski kuramdan üstün tutmaya başladığındaysa devrim ne-

[3] Schwarz ile yapılan bir görüşmeden.

ticeleniyordu.[4] Kuhn'un bilim tanımını eleştirmek mümkündür, kitabın son bölümünde böyle yapacağım. Yine de söyledikleri bazı durumlarda gerçekleşmiş olduğundan karşılaştırma için kullanışlı bir açı sağlar.

1984 olayları Kuhn'un fikirleri çerçevesinde gerçekleşmedi. Sicim kuramının etkili olduğu alanlara eğilmiş kabul gören başka bir kuram yoktu. Deneysel anomaliler mevcut değildi; standart model ve genel görelilik o zamana kadar yapılmış bütün deneyleri başarıyla açıklıyordu. Yine de bunu devrim olarak adlandırmamak mümkün müydü? Elimize birdenbire evreni ve bizim içindeki yerimizi açıklayacak ve nihai bir kurama aday olabilecek bir fikir geçmişti.

1984'teki süpersicim devriminden sonraki dört beş yıl boyunca oldukça fazla ilerleme kaydedildi ve sicim kuramına ilgi gitgide arttı. Dünyadaki en büyük konu oydu. Ona yönelenler bunu gurur ve ihtiras içinde yaptılar. Öğrenilmesi gereken sürüyle matematiksel araç vardı; yani sicim kuramında çalışmaya başlamak için birkaç aydan bir yıla uzayan bir yatırım gerekiyordu. Bu bir kuramsal fizikçi için uzun bir zamandır. Bunu yapanlar, yapmayanlara ya da yapamayanlara biraz aşağılar şekilde bakmaya başlamıştı; en azından bu ima ortadaydı. Çok kısa sürede neredeyse bir mezhep havası oluşmuştu. Ya sicim kuramcısıydınız ya da değildiniz. Bazılarımız sağduyumuzu korumaya çalıştık: İşte ilgi çekici bir fikir; biraz buna bakayım ama diğer yolları da ihmal etmeyeyim. Bunun gerçekleşmesini sağlamak kolay değildi, çünkü konuya balıklama atlayanların, kendilerini yeni dalganın mensupları olarak ilan etmeyenlerle konuşmaya hevesli oldukları söylenemezdi.

Her yeni alanda olduğu gibi, sicim kuramı üzerine de hemen konferanslar düzenlenmeye başlandı. Hepsi de zafer kutlaması havasında geçiyordu. Gerçek olan tek kurama erişildiği izlenimi vardı. Başka hiçbir şey önemli değildi ve üzerine düşünmeye değmezdi. Birçok üniversitede ve araştırma merkezinde

---

4 Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1962). [*Bilimsel Devrimlerin Yapısı*, çev: Nilüfer Kuyaş, Kırmızı Yayınları, 2006.]

sicim kuramı üzerine düzenlenen seminerlerin sayısı çok arttı. Harvard'da sicim kuramı seminerlerine Postmodern Fizik Semineri deniyordu.

Kurama böyle bir lakap takmak hiciv için yapılmamıştı. Sicim kuramı seminerlerinde ve konferanslarında bahsi en az geçen konulardan biri kuramın ne tür deneysel testlerle sınanabileceği sorusuydu. Bazıları bunun üzerine eğilseler de çoğunluk gereksiz olduğunu düşünüyordu. Bunun arkasında yatan düşünce aslında şuydu: sadece bir tek kuram tutarlı bir şekilde fiziği birleştirebilirdi, sicim kuramı bunu yapıyor gibi gözüktüğünden, *doğru olmak zorundaydı*. Kuramlarımızı sınamak için artık deneylere ihtiyacımız yoktu. Bu Galileo'nun işiydi. Artık doğanın yasalarını araştırmak için matematik yeterliydi. Gerçekten de postmodern fizik çağına girmiştik.

Kısa sürede sicim kuramının biricik olmadığı anlaşıldı. Tutarlı tek bir kuram yerine, on boyutlu uzayzamanda beş tutarlı süpersicim kuramı kurulabiliyordu. Bu gelecek on yıl boyunca çözülemeyecek bir bilmece yarattı. Yine de bu kötü bir haber sayılmazdı. Kaluza-Klein kuramının ölümcül sorununu hatırlayalım: Bu kuramdan çıkartılan evrenler fazlaca simetriktir, doğanın kendi ayna görüntüsüyle aynı olmadığı gerçeğini içeremezler. Beş sicim kuramından bazıları bunu sağlayabilecek kadar az simetri içerirler. Aynı zamanda sicim kuramlarının sonsuzluklar içermediğini gösteren gelişmeler de oluyordu, sicim kuramı deneyler için hep sonlu sayılar öngörüyor gibiydi. Fermiyonlara yer olmayan bozonik sicim kuramlarından hesaplanan ve graviton kuramıyla benzerlikler içeren ifadelerde sonsuzluklar olmadığı kolayca gösterilebilir, ama olasılıkları daha ileri kesinlik seviyelerinde hesaplamaya başlarsanız takyonun kararsızlığından kaynaklanan sonsuzluklar ortaya çıkar. Süpersicimlerde takyonlar bulunmadığından kuram dahilinde yapılacak her hesabın sonlu bir sayı vereceğini düşünmek olasıdır.

Bunun böyle olduğunu, en azından düşük bir yaklaşıklık seviyesinde, göstermek kolaydır. Bunun ilerisinde kuramın *bütün* yaklaşıklık seviyelerinde sonlu olacağını iddia eden sezgisel fikirler vardır. Önemli bir sicim kuramcısının dediklerini hatırlı-

yorum; ona göre sicim kuramının sonsuzluk içermediği o kadar aşikârdır ki bir ispat yapılsa bile onu incelemeyecektir. Yine de bazıları kuramın sonluluğunu ilk seviyenin ilerisinde ispatlamak için çalışmayı bırakmadılar. Nihayet, 1992'de, Berkeley'de olan ve kendisine çok saygı duyulan matematiksel fizikçi Stanley Mandelstam, içinde sicim kuramının belirli bir yaklaşıklık çerçevesinin tüm seviyelerinde sonlu olduğunun gösterildiğine inanılan bir makale yayımladı.[5]

İnsanların bu kadar iyimser olmasına şaşmamak gerekir. Sicim kuramının vaatleri o zamana kadarki bütün birleşik kuramların becerebildiğinden çok daha fazlaydı. Öte yandan bu vaatlerin gerçekleşmesi için oldukça zaman geçmesi gerektiğinin de ayırdına yavaş yavaş varıyorduk. Örneğin standart modelin tüm sabitlerinin açıklanmasını ele alalım. Daha önce de söylediğimiz gibi sicim kuramında serbestçe ayarlanabilecek tek bir sabit vardır. *Eğer sicim kuramı doğruysa standart modelin tüm parametreleri bu sabit cinsinden açıklanmalıdır*. Bu gerçekleşirse gerçekten de bilim tarihindeki bütün zaferlerden daha büyük, harika bir şey olacaktır. Ama daha orada değiliz.

Bunun yanında bütün birleştirme kuramları hakkında olduğu gibi sorulması gereken bir soru vardır. Birleşik parçacıklar ve kuvvetler arasında gözlenen farklılıklar nasıl açıklanacaktır? Sicim kuramı bütün kuvvetleri ve parçacıkları birleştirdiğinden neden bu kadar farklı göründüklerini de açıklayabilmelidir.

Sonunda iş, her şeyde olduğu gibi, gelip ayrıntılara çattı. Gerçekten de işliyor mu ya da göremediğimiz ufak bir şey mucizeyi berbat mı ediyor? Eğer işliyorsa, böylesine basit bir kuram nasıl oluyor da bu kadar şeyi açıklayabiliyor? Eğer sicim kuramı doğruysa doğa hakkında neye inanmamız gerekiyor? Acaba bu süreçte, eğer varsa, kaybettiğimiz şeyler nelerdir?

Kuram hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukça, ortaya koyduğu sorunların yeni bir araba almaya karar verdiğimizde karşılaştıklarımızla aynı olduğunu düşünmeye başladım. Kafanız-

---

[5] S. Mandelstam, "The N-loop String Amplitude – Explicit Formulas, Finiteness and Absence of Ambiguities," *Phys. Lett. B*, 277(1-2):82-88 (1992).

daki tercihler listesiyle bir galeriye gidersiniz. Satıcı seve seve size bu tercihleri tatmin eden bir araba satmaya çalışır. Birçok araba modeli önünüze konur. Bir süre sonra anlarsınız ki size gösterilen her arabanın tercihlerinizde yer almayan özellikleri de vardır. Siz kilitlenmeyen frenler ve CD çalara da sahip iyi bir ses sistemi istersiniz Bunları içeren arabaların aynı zamanda, açılır üst camları, kromdan havalı tamponları, titanyumdan jant kapakları, sekiz adet bardak tutacağı ve özel dizayn yarış çizgileri vardır.

Paket satış denince kastedilen işte budur. Sonuçta sadece istediğiniz özelliklere sahip bir araba bulamazsınız. İstemediğiniz ya da ihtiyaç duymadığınız şeyleri de içeren bir tercih paketi almak zorunda bırakılırsınız. Bu fazlalıklar fiyatı oldukça artırır ama seçeneğiniz yoktur. Eğer kilitlenmeyen frenler ve CD çalar istiyorsanız bütün paketi almalısınız.

Sicim kuramı da, bir paket satış olarak sunuluyor gibidir. Sadece parçacıkları ve kuvvetleri birleştiren bir kuram istersiniz ama aldığınız paketin içinde bazı fazladan özellikler bulunur. Bu fazlalıklardan ikisi pazarlığa bile tâbi değildir.

Bunlardan birincisi süpersimetridir. Süpersimetrik olmayan sicim kuramları vardır ama hepsi de o sinir bozucu takyon yüzünden kararsızdır. Süpersimetri takyonlardan kurtulmak için kullanılmıştır ama bunda bir bit yeniği de yok değildir. Kuram yalnızca evrenin dokuz uzay boyutu olduğu kabul edilirse geçerlidir. Üç uzay boyutunda çalışabilecek bir sicim kuramı yoktur. Eğer diğer özellikleri gerçekten istiyorsanız fazladan altı uzay boyutunu da kabul etmelisiniz. Bunun birçok sonucu vardır. Kuramın derhal reddini engellemek için bu boyutları gizlemenin bir yolu olmalıdır ve bunun fazladan boyutları kendi üzerlerine kıvırıp gözükmeyecek kadar küçük olmalarını sağlamaktan başka bir yolu yok gibidir. Böylelikle birleşik alan kuramlarının temel fikirlerini tekrar canlandırmış oluruz.

Bu durum büyük olanaklar sağlarken aynı zamanda büyük sorunlara da yol açıyordu. Görmüş olduğunuz gibi fiziği birleştirmek için yüksek boyutlu dünyalar tasımlama fikri başarısız olmuştu, çünkü bu kuramlar çok fazla çözüme yol açıyordu; ek

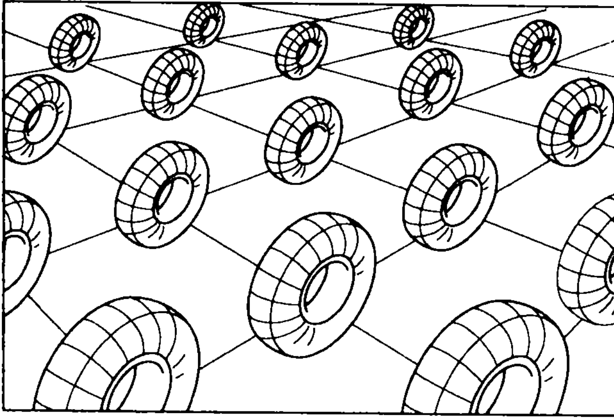
boyutların eklenmesi biricik çözümlere ulaşamıyordu. Bunlar aynı zamanda kararsızlık sorunları da içeriyordu; çünkü bazı çözümlerde fazladan boyutlar genişleyip görünür hale geliyor bazılarındaysa sıfır hacme çöküp tekilliklere yol açabiliyorlardı. Eğer sicim kuramı başarılı olmayı hedefliyorsa bunlara çözümler getirmeliydi.

Sicim kuramcıları çok geçmeden biricik olmama durumunun kuramın merkezi bir özelliği olduğunu anladılar. Büzülecek altı boyut ve bunu gerçekleştirmenin birçok yolu vardı. Bunlar oldukça karmaşık altı boyutlu uzaylar içeriyor ve her biri de sicim kuramının değişik şekillerine varıyordu. Sicim kuramı ardalana bağımlı bir kuram olduğundan sicimlerin belirlenmiş bir ardalan uzayzamanda hareket ettiğini betimliyordu ve değişik ardalanlar seçerek değişik kuramlar oluşturabiliyorduk. Hepsi de aynı fikirden kaynaklanıyor ve aynı yasaları içeriyordu. Yine de kesin konuşmak gerekirse her biri farklı kuramlardı.

Bu yaptığım ince eleyip sık dokumak değil. Bu farklı kuramların yol açtığı fiziksel öngörüler de farklıdır. Bahsettiğimiz altı boyutlu uzayların çoğu serbestçe ayarlanabilecek bir sabitler kümesiyle tanımlanır. Fazladan boyutların hacmi gibi, geometrinin değişik özelliklerini belirlerler ve tipik bir sicim kuramında bunlardan yüzlercesine rastlayabiliriz. Bu sabitler sicimlerin nasıl hareket ettiğini ve birbirleriyle nasıl etkileştiklerini bağlayan kuralların içindedir.

İki boyutlu bir yüzey düşünelim, örneğin bir küre. Bakışımı mükemmel olduğundan, sadece tek bir sayıyla tanımlanır; çapıyla. Ama şimdi bir simit gibi daha karmaşık bir yüzey düşünelim (Şekil 7). Bu yüzey iki sayı aracılığıyla tanımlanır. Bu sayılar simidin etrafına iki değişik şekilde sarılabilecek çemberlerin çapını belirler.

Daha da karmaşık, içinde birçok delik olan, örnekler düşünebiliriz. Bunları tanımlamak için daha da fazla sayı gerekir. Ama (en azından benim bildiğim) kimse altı boyutlu bir uzayı nasıl göz önüne getirebileceğimizi bilmez.



Şekil 7. *Gizli boyutlar değişik topolojilere sahip olabilir. Bu örnekte iki gizli boyut var ve bir simidin topolojisine sahipler.*

Yine de bunları tanımlamak için çeşitli araçlara sahibiz. Bu yöntemler simit örneğinde olduğu gibi uzayda oluşan delikleri kullanır. Bir deliğin etrafına bir sicim sarmak yerine onu daha yüksek boyutlu bir uzayla sarabiliriz. Her durumda bu sardığımız uzayın bir hacmi olacaktır ve bu geometriyi belirleyen bir sayıdır. Sicimlerin fazladan boyutlarda nasıl hareket ettiğini çalıştığımızda bütün bu sabitler etkili olur. Kısacası tek bir sabit yerine yine birçok sabitten bahsetmek zorunda kalırız.

Bu, sicim kuramının fiziği birleştirmeye çalışan bütün kuramların karşısına çıkan temel ikileme sağladığı çözümün ta kendisidir. Her şey basit bir ilkeden kaynaklanmasına rağmen değişik parçacıkların ve kuvvetlerin nasıl ortaya çıktığını göstermeniz gerekir. Uzayın dokuz boyutlu olduğu en basit şeklinde sicim kuramı çok basittir; aynı tipteki bütün parçacıklar özdeştir. Ama sicimleri karmaşık bir geometriye sahip ek boyutlar içinde hareket ettirdiğimizde her biri bu geometrinin içinde değişik titreşme şekillerinden doğan birçok farklı parçacık oluşur.

Böylelikle, her iyi birleştirme kuramının yapması gerektiği gibi, gözlenen parçacıklar arasındaki farklılıkları açıklamanın doğal bir yolunu bulmuş oluruz. Ama bunun bir bedeli vardır; kuramın tek bir hali yoktur. Aslında olan şey değişik sabitlerin

birbirleriyle takas edilmesinden ibarettir: Parçacıkların kütlelerini ve kuvvetlerin şiddetini bağlayan sabitler altı boyutlu ek uzayın geometrisini bağlayan sabitlerle değiş tokuş edilmiştir. Bu durumda da standart modeli açıklayabilecek bir sabitler listesi bulabilmemize pek şaşırmamak gerekir.

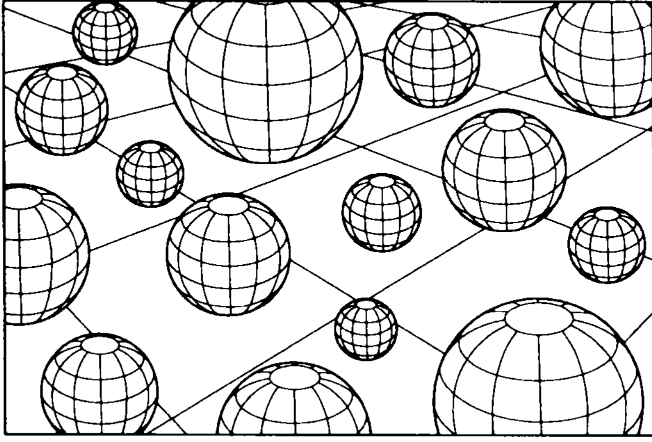
Böyle olsa bile bu plan standart modelin sabitleri için kendine has öngörülerde bulunabilseydi yeteri kadar ikna edici olabilirdi. Standart modelin sabitlerini fazladan boyutların geometrisini bağlayan sabitlere tercüme ederek standart model hakkında yeni anlayışlara varmamızı sağlasaydı ve bunlardan elde edilen öngörüler deneylerle kanıtlanabilseydi, sicim kuramının doğruluğu hakkında güçlü deliller elde etmiş olduğumuzu söyleyebilirdik.

Ama böyle olmadı. Standart modelde serbestçe ayarlanabilen sabitler sicim kuramında serbest bir şekilde ayarlanan geometrilere dönüştüler. Hiçbir kısıt veya indirgeme yoktu. Ek boyutların geometrisi için çok fazla geometri seçilebildiğinden, serbest sabitlerin sayısı azalmak yerine artmış oluyordu.

Dahası standart model tam olarak oluşturulamıyordu. Fermiyonlar ve ayar alanları gibi temel özelliklerini çıkarabiliyorduk, ama doğada gözlediğimiz yapının aynısını elde edemiyorduk.

Bundan sonra işler daha da kötüye gitti. Bütün sicim kuramları, doğada henüz gözlenmemiş parçacıklar öngörürler. Bunlarla beraber ek kuvvetler de gelir. Bu kuvvetlerden bazıları ek boyutların geometrisinin değişimlerinden kaynaklanır. Şekil 8'de gösterildiği gibi uzaydaki her noktaya iliştirilmiş küreler düşünelim. Kürelerin çapı uzay içinde değişiklik gösterebilir.

Her kürenin çapı iliştirildiği noktanın bir özelliği gibi düşünülebilir. Yani bir alan gibi. Tıpkı elektromanyetik alan gibi bu alanlar da uzay ve zamanda yayılabilirler ve bu da yeni kuvvetlere yol açar. Oldukça zekice, ama bu yeni kuvvetler deneylerle uyuşmama tehlikesi altındadır.



Şekil 8. Gizli boyutların geometrisi uzay ve zamanda değişim gösterebilir. Bu örnekte, kürelerin çapı değişkendir.

Genel şeylerden bahsediyoruz, ama tek bir dünya vardır. Eğer sicim kuramı başarılı olacaksa olası dünyaların modeli olmanın yanında *bizim* dünyamızı da açıklayabilmelidir. Bu durumda anahtar bir soru şudur: *Fazladan boyutları eğmenin standart modeli tamamen oluşturabilecek bir yolu var mıdır?*

Bunun yollarından biri dünyanın süpersimetrik olduğunu kabul etmekten geçer. Sicim kuramı süpersimetriye sahip olmasına rağmen bu bakışımın dünyamızda nasıl gözükeceği yine ek boyutların geometrisine bağlıdır. Böylece onları, süpersimetrinin dünyamızda kırılmış gözükmesini sağlayacak şekilde ayarlayabiliriz. Ya da o kadar fazla süpersimetri vardır ki bu sağlanamaz.

Bu da ilginç bir soruya yol açar: Fazladan boyutların geometrisini tam olarak ihtiyaç duyulan kadar süpersimetri içerecek şekilde seçilebilir miyiz? Bu geometriyi üç boyutlu dünyamızda standart modelin süpersimetrik bir halini verecek şekilde ayarlayabilir miyiz?

Bu sorun 1985 yılında Philip Candelas, Gary Horowitz, Andrew Stominger ve Edward Witten'ın yazdığı çok önemli bir ma-

kalede yanıtlanmıştır.[6] Şanslı sayılırlardı, çünkü Eugenio Calabi ve Shing-tung Yau adlarında iki matematikçi aranan yanıtı içeren bir matematiksel problemi çoktan çözmüşlerdi. Artık Calabi-Yau uzayları olarak anılan yepyeni ve güzel altı boyutlu uzayları keşfedip bunların özelliklerini çalışmışlardı. Bahsettiğimiz dört sicim kuramcısı standart modeli tam olarak oluşturmak için gerekli şartların Calabi-Yau uzaylarını tanımlayan kısıtlarla aynı olduğunu gösterdiler. Bunun sonucunda da doğanın, ek boyutları bir Calabi-Yau uzayı olan bir sicim kuramıyla betimlenebileceğini önerdiler. Bu durum olasılıkları biraz azaltıp kuramı daha yapısal hale getiriyordu. Örneğin standart modeldeki sabitlerin Calabi-Yau uzaylarının geometrisini tanımlayan sabitlere tam olarak nasıl bağlanacağını gösterebildiler.

Bu çok önemli bir gelişmeydi. Ama aynı şekilde büyük bir soruna yol açıyordu. Eğer tek bir Calabi-Yau uzayı olsaydı hayalini kurduğumuz kurama nihayet erişmiş olacaktık. Ne yazık ki, çok fazla Calabi-Yau uzayı olduğu anlaşıldı. Kimse bunların sayısını bilmiyordu, ama Yau'nun en azından yüz bin adet olduğunu söylediği aktarılıyordu. Bütün bu uzaylar birbirinden farklı parçacık fiziklerine yol açar ve her biri için, şekil ve büyüklük gibi geometrik özelliklerini tanımlayan, bir sabitler listesi vardır. Yani tek bir çözüm ve bundan doğan yeni öngörüler yoktur ve hiçbir şey açıklanmış değildir.

Bunlara ek olarak, Calabi-Yau uzaylarını içeren kuramlar fazladan bir sürü kuvvete yol açarlar. Eğer sicim kuramı süpersimetrikse bunların çoğunun menzili sonsuz olmalıdır. Bu şanssız bir durumdur, çünkü elektromanyetizma ve kütleçekim dışındaki sonsuz menzilli kuvvetlerin varlığını kısıtlayan kesin deneysel veriler vardır.

Başka sorunlar da vardı. Fazladan boyutların geometrisini belirleyen sabitler süreklilik içeren değişkenlerdi. Bu Kaluza-Klein kuramlarında olduğu gibi kararsızlıklara yol açabilirdi. Eğer fazladan boyutların geometrisini donduran gizemli me-

6 P. Candelas vd., "Vaccum Configurations for Superstrings," *Nucl. Phys. B.* 274(2), s. 253-84 (1986).

kanizmalar yoksa bu kararsızlıklar, ek boyutların sıfır hacme çökmesi gibi felaketlerle sonuçlanabilirdi.

Bütün bunların başında, eğer dünyamız bir Calabi-Yau uzayının geometrisiyle tanımlanıyorsa, bunun bu noktaya nasıl geldiğini anlamanın bir yolu yoktu. Sicim kuramı Calabi-Yau uzaylarından başka birçok çözüme de sahiptir. Kuramın eğilmiş uzay boyutlarının sayısının sıfırdan dokuza değiştiği halleri de mevcuttur. Eğilmemiş uzay kısımları *düz* olarak adlandırılır ve bizim gibi büyük varlıklar tarafından hissedilebilir. (Bunun parçacık fiziğine etkilerini incelemek için kütleçekimi ve kozmolojiyi göz ardı edip sadece yüksek boyutlarda özel görelilik kuramını kullanabiliriz.)

Yüz binlerce Calabi-Yau uzayı buzdağının sadece görünen kısmıydı. 1986 yılında Andrew Strominger çok daha fazla süpersimetrik sicim kuramı kurmaya yarayan bir yol keşfetti. Bu inşayı gösterdiği makalenin sonunda ne yazdığını hatırlamak faydalı olacaktır:

> Süpersimetrik sicim tıkızlaştırmalarının sayısı devasa boyutlara varmıştır... Bu çözümlerin ... yakın gelecekte sınıflandırılabilmesi pek mümkün gözükmüyor. Bu çözümler üzerindeki kısıtlamalar zayıf olduğundan fenomenolojik olarak kabul edilebilir olanlardan bazılarını bulmanın mümkün olacağını söyleyebiliriz... Bu oldukça rahatlatıcı olmasında rağmen, sanki işimiz çok kolaylaşmış gibi duruyor. ***Bütün öngörü kudreti yok olmuş görünüyor.***

Bütün bunlardan anlıyoruz ki, kuramlar arasında seçim yapmamızı sağlayacak dinamik bir ilkeye her zamankinden daha fazla ihtiyacımız var.[7] [İtalikler benim.]

Böylece sicim kuramı, fazladan boyutlar kullanan eski kuramların stratejisini benimseyerek onların sorunlarını da içermişti. Birçok çözüm vardı ve bunlardan bazıları dünyamızı açıklıyor olsa da bunu sağlamayanların sayısı daha fazlaydı. Birçok kararsızlık kaynağı vardı ve bunlar kendini bir sürü fazladan parçacık ve kuvvet olarak ortaya koyuyordu.

---

7 A. Strominger, "Superstrings with Torsion," *Nucl. Phys. B.* 274(2), s. 253-84 (1986).

Bunun anlaşmazlığa yol açacağı kesindi ve öyle de oldu. Kuramın iyi yönlerini içeren listenin uzun ve etkileyici olduğunu inkâr edecek pek kimse yoktu. Parçacıkların titreşen sicimler olduğu fikri gerçekten de ucu açık birçok problemi çözebilecek ve aradığımız kayıp bağlantı olabilirdi. Ama bunun bedeli çok yüksekti. Kabul etmemiz gereken bütün bu yeni özellikler, en azından bazılarımızın fikrine göre, en baştaki önerinin güzelliğine gölge düşürmüştü. Diğerleriyse fazladan boyutların geometrisini kuramın en güzel yönü olarak algıladılar. Her iki tarafı da ateşli bir şekilde savunan kuramcılar bulunmasına şaşmamak gerek.

İnananlar bütün pakete inanıyorlardı. Süpersimetrinin ve fazladan boyutların gerçek olduğuna ve pek yakında keşfedileceklerine inanan fizikçiler tanıyorum. Tam da bu sebepten gemiden atlayanlar da vardı, çünkü bütün bunlar onlara göre deneysel destek olmadan kabul etmek için çok fazlaydı.

Richard Feynman aleyhte olanlardan biriydi. Bütün bu coşkuya katılmasına engel olan çekincelerini şöyle anlatıyordu:

> Hiçbir şey hesaplamıyor olmalarını beğenmiyorum. Fikirlerini sınamamalarını beğenmiyorum. Deneylerle uyuşmayan her şey hakkında hep "İyi de, hâlâ doğru olabilir" demelerine yarayan bir açıklama, bir tertip uydurmalarını beğenmiyorum. Örneğin kuram on boyut gerektiriyor. Peki, belki de bunlardan altısını sarıp sarmalamanın bir yolu vardır. Evet, bu matematiksel olarak mümkündür, ama neden yedi değil? Denklemlerini yazdıklarında, bunlardan kaçının büzüleceğine deneylerle uyuşma endişesi değil denklemin kendisi karar vermelidir. Başka bir şekilde söylersek, süpersicim kuramında sekiz boyutun büzülüp bunun sonucunda da görünen uzayın iki olmasını engelleyecek hiç ama hiçbir sebep yoktur, ki bu deneylerle tamamen çelişkili olacaktır. Sonuçta deneylerle yalanlanabilmesi pek mümkün değil, yeni bir şey üretmiyor, nerdeyse hep mazur görülmesi gerekiyor. Doğru gözükmüyor.[8]

---

[8] P.C.W. Davies ve Julian Brown'un editörleri olduğu, *Superstrings: A Theory of Everything*, başlıklı kitaptan. (Cambridge, U.K.: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1988), s. 194-95.

Bu hisleri daha önceki nesil parçacık fizikçilerinin çoğu paylaşıyordu; parçacık fiziğinde başarının deneylerle her zaman ilişki içinde olmaktan geçtiğini biliyorlardı. Diğer bir muhalif, standart model üzerine olan çalışmalarıyla Nobel Ödülüne layık görülmüş Sheldon Glashow'du:

> Ama süpersicim fizikçileri kuramlarının gerçekten de çalıştığını daha gösteremediler ki. Standart modelin sicim kuramının mantıksal bir sonucu olduğunu ispatlayamadılar. Resimlerinde proton ve elektronlar gibi şeylere yer olup olmadığından bile emin değiller. Ve hâlâ daha deneyler için ufacık da olsa bir öngörüde bulunabilmiş değiller. Daha da kötüsü, süpersicim kuramı doğa hakkında ikna edici temel birtakım varsayımların mantıksal bir sonucuymuş gibi gözükmüyor. Sicim kuramı neden uzayın dokuz boyutlu olmasında ısrar ediyor diye sorarsanız. Cevap basitçe, çünkü başka uzaylarda sicim kuramı anlamsızdır, olur.[9]

Tartışma bir yana, gerçekten de kuramı daha iyi anlamaya ihtiyaç vardı. Bu kadar değişik şekillere bürünebilen bir kuram tek bir kurama benzemiyordu. Sanki bütün bu kuramlar henüz bilinmeyen başka bir kuramın değişik çözümleriymiş gibiydi.

Bir kuramın değişik çözümleri olması fikrine yabancı değiliz. Newton'ın yasaları parçacıkların değişik kuvvetler altında nasıl hareket edeceğini tanımlar. Kuvvetleri belirlediğimizi düşünelim; örneğin dünyanın kütleçekim alanında düşen bir topu çalışalım. Newton denklemlerinin her biri topun değişik yörüngelerine karşılık gelen sonsuz sayıda çözümü vardır: Topu yukarı ya da aşağı, hızlı ya da yavaş atabiliriz. Bu yollardan her biri değişik bir yörüngeye yol açar ve bunların her biri de Newton denklemlerinin birer çözümüdür.

Genel görelilikte de sonsuz sayıda çözüm mevcuttur. Bunlardan her biri başka uzayzamanlar tanımlar ve evren için değişik tarihler içerir. Uzayzamanın geometrisi dinamik bir değişken olduğundan sonsuz şekil alıp sonsuz değişik evrene evrilebilir.

Sicim kuramının üzerine kurulduğu bütün ardalan uzayzamanları Einstein denklemlerinin ya da onların bir tür genelleş-

---

9 Sheldon L. Glashow and Ben Nova, ***Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist*** (New York: Warner Books, 1988), s. 25.

tirilmesinin çözümleridir. Bunlar göz önüne alındığında insanlar giderek büyüyen sicim kuramları kataloğunun aslında temel bir kuramla karşı karşıya olmadığımıza işaret ettiğini fark etmeye başladılar. Belki de asıl yaptığımız, daha derinlerde gizlenen bilinmeyen bir kuramın *çözümlerini* bulmaktan ibaretti. Buna bir tür *öte-kuram* diyebiliriz, çünkü çözümlerinin hepsi birer kuramı tanımlar. Bu öte-kuram asıl temel yasadır. Onun her çözümü bir sicim kuramına yol açar.

Kısacası, sonsuz sayıda sicim kuramından bahsetmek yerine, sonsuz sayıda çözümü olan bir temel öte-kuramdan bahsetmek daha ikna edici olacaktır.

Bütün sicim kuramlarının belirli bir ardalan uzayzamanda hareket eden sicimleri tanımlayan birer ardalan bağımlı kuram olduğunu hatırlayalım. Bütün bu yaklaşık sicim kuramları değişik ardalanlarda yaşadığından onları içeren kuram *hiçbir ardalana bağlı olmamalıdır*. Gereken şey, bunları ardalandan bağımsız tek bir kuramda birleştirmektir. Bunu yapmanın yolu artık açık olmalı: Kendisi ardalandan bağımsız olan bir öte-kuram icat edip ardalana bağımlı bütün sicim kuramlarını bundan çıkarmak.

Demek oluyor ki, ardalandan bağımsız bir kuram aramak için iki sebebimiz var. Geometrinin dinamik yapısını işe dahil etmemiz gerektiğini Einstein'ın genel görelilik kuramından beri biliyorduk. Şimdiyse bütün sicim kuramlarını birleştirmemiz gerekiyordu. Bunu sağlamak için yeni bir fikre ihtiyacımız var, fakat en azından şimdilik buna erişemiyoruz.

Bu öte-kuramdan beklenen şeylerden biri de, hangi sicim kuramının fiziksel gerçekliğe uyacağını seçmemiz konusunda kolaylık sağlamasıdır. Çünkü düşünülüyordu ki, sicim kuramı tek birleşik kuram olduğundan, çok sayıdaki değişik hallerinin birçoğu kararsızlık içerdikleri için reddedilecek ve kararlı olan tek çözüm standart modelin sabitlerini tek bir şekilde belirleyecekti.

1980'li yılların sonlarına yakın bir zamanda aklıma daha farklı bir olasılık gelmişti. Belki de bütün sicim kuramlarının geçerli olduğunu düşünebilirdik. Bu yaklaşım fizik hakkında-

ki beklentilerimizin tümünü gözden geçirmeyi gerektirir, çünkü temel parçacıkların bütün özelliklerin arızi olduğunu ima eder; yani temel bir yasa tarafından değil sicim kuramının sonsuz çözümlerinden birine bağlı olduklarını. Böyle bir olanakla ilgili ipuçları kendiliğinden simetri kırınımı içeren kuramlarda çoktan mevcuttu, ama sicim kuramının sürüyle değişik çeşidi olması bunun ilkesel olarak temel parçacıkların bütün özellikleri için de mümkün olabileceğine işaret ediyordu.

Bu temel parçacıkların bütün özelliklerinin çevresel olabileceği ve zamanla değişebileceği anlamına da geliyordu. Eğer bu doğruysa temel parçacıkları betimleyen sabitler evrenin tarihine bağlı olacak ve fizik daha çok biyolojiye yakın olacaktı. Sicim kuramı tek bir kuramdan ziyade, bir kuramlar peyzajına benzeyecekti; tıpkı evrimsel biyoloji üzerine çalışanların kullandığı uygunluk peyzajı gibi. Hatta doğal seçilim gibi bir sürecin evrenimizde geçerli olacak yasaların tercihinde etkili olduğunu düşünebilecektik. (Bu fikirlerim üzerine daha sonra 1992 yılında "Evren Evrildi mi?" başlıklı bir makale,[10] 1997'deyse "Evrenin Hayatı" başlıklı bir kitap yazdım. Hikâyemiz ilerledikçe bu fikirlere geri döneceğiz.)

Ne zaman bu evrimsel ilkeye dayanan fikrimi sicim kuramcılarına açsam hep, "Üzülme, kuramın tek bir halini seçmemize olanak verecek ama şu an bilmediğimiz bir ilke var. Bunu bulduğumuzda bize standart modelin tüm sabitlerini açıklayacak ve ilerde yapılacak deneyler için kendine has öngörülerde bulunacak" diye cevap verirler.

Her şeye rağmen sicim kuramındaki ilerlemeler yavaşladı ve 1990'lı yılların başlarında sicim kuramcılarının cesareti kırılmıştı. Kuramın bütünsellik içeren bir formülasyonu bulunamamıştı. Elimizdeki tek şey, her biri kendine has birçok serbest parametreye sahip, yüz binlerce değişik kuram içeren bir listeydi. Bunlardan hangilerinin gerçekliğe sahip olduğunu ayrıştıracak kesin bir fikre sahip değildik. Teknik birçok ilerlemeye karşın

---

10 L. Smolin, "Did the Universe Evolve?," *Class. Quant. Grav.*, 9(1), s. 173-91 (1992).

kuramın doğruluğu hakkında ipuçları verebilecek sonuçlar elde edilememişti. Daha da kötüsü, yapılabilir deneylerle doğrulanabilecek ya da yanlışlanabilecek hiçbir öngörü yoktu.

Sicim kuramcılarının cesaretlerini yitirmelerine yol açmış başka sebepler de bulunuyordu. 1980'lerin sonu kuram için iyi geçmişti. 1984 Devriminden sonra, John Schwarz gibi kuramı icat eden fizikçiler en iyi üniversitelerden iş teklifleri almıştı. Birkaç yıl boyunca genç sicim kuramcıları atılımlara devam ettiler. Ama 1990'lara gelindiğinde bu süreç yavaşlamış ve becerikli kişilere yapılan iş tekliflerinin sayısı düşmeye başlamıştı.

Yaşlı ya da genç birtakım fizikçiler alan üzerinden çalışmayı bu aşamada terk etti. Sicim kuramı üzerine çalışmanın zihni oldukça geliştirdiği anlaşılmıştı ve daha önce sicim kuramcısı olan bazı fizikçiler, katı hal fiziği, biyoloji, nörobilim, bilgisayar bilimleri ve bankacılık alanlarında başarılı oluyorlardı.

Ama şüphesiz ki bazıları sicimler üzerine çalışmaya devam etti. Cesaret kırıcı birçok etmene rağmen, birçok bilimci fiziğin geleceğinin sicim kuramından geçtiği fikrini terk edemiyorlardı. Kuramın problemleri varsın olsundu; başka hiçbir birleştirme fikrinin daha başarılı olduğu da söylenemezdi. Bazıları kuantum kütleçekim üzerine çalışıyordu ama sicim kuramcıları bundan haberdar değildi. Onlara göre sicim kuramı sahnedeki tek oyundu. En başta umulandan daha çetin bir yol olduğu anlaşılmış olmasına rağmen başka hiçbir kuram bilinen bütün parçacıkları ve kuvvetleri birleştiren ve kütleçekimin bir kuantum kuramını içerecek sonlu ve tutarlı bir çerçeve sunacağı iddiasında bulunmuyordu.

Bunun üzücü bir sonucu da inananlar ile kuşkucular arasındaki uçurumun derinleşmesi oldu. Her iki taraf da siperlerini derin kazmış, konumlarının doğruluğu hakkında kendilerinden emin görünüyordu. Sicim kuramını algılayışımızı temelden etkileyen bazı önemli gelişmeler olmasaydı bu durum uzun bir süre devam edebilirdi.

9. İKİ NUMARALI DEVRİM

Sicim kuramı en başta doğadaki bütün parçacıkları ve kuvvetleri birleştirmek için önerilmişti. Ama 1984 Devrimini izleyen on yıl boyunca süren çalışmalar beklenmedik sonuçlar doğurdu. Bu sözde birleşik kuram birçok parçaya ayrıldı: on boyutlu uzayzamanda yaşayan beş adet tutarlı süpersicim kuramı ve bunların boyutlardan bazılarının büzülmesiyle oluşturulan milyonlarca değişik hali. Zaman geçtikçe, sicim kuramının da bir birleştirmeye ihtiyacı olduğu anlaşıldı.

1995'te gerçekleşen ikinci süpersicim devrimi tam olarak da bunu sağladı. Bu devrimin doğuşu genellikle Edward Witten'ın mart ayında Los Angeles'ta düzenlenen bir sicim konferansında yaptığı konuşmaya bağlanır. Bu konuşmada birleştirici bir fikirden bahsetmişti. Aslında, bir birleşik süpersicim kuramını bütünüyle gözler önüne sermekten ziyade böyle bir kuramın varlığını önerip içerebileceği bazı özelliklerden bahsetmişti. Witten'ın önerisi sicim kuramının değişik yönlerini ortaya çıkarıp kuram hakkındaki anlayışımızı ciddi seviyede artırmış bazı yeni buluşlara dayanıyordu. Bu buluşlar, sicim kuramı, ayar kuramları ve kütleçekim arasındaki derin benzerlikleri ve ilişkileri gün ışığına çıkararak bunları birbirlerine daha da sıkı bağlamıştı. Günümüz fiziğinde çoğunun daha önce benzerine rastlanmamış bu gelişmeler ben de dahil olmak üzere birçok insanın kuşkularını giderdi. En başlarda, bilinen beş tutarlı süpersicim kuramının değişik dünyalar tasvir ettiği zannediliyordu, ama 1990'ların ortalarında artık o kadar da farklı gözükmüyorlardı.

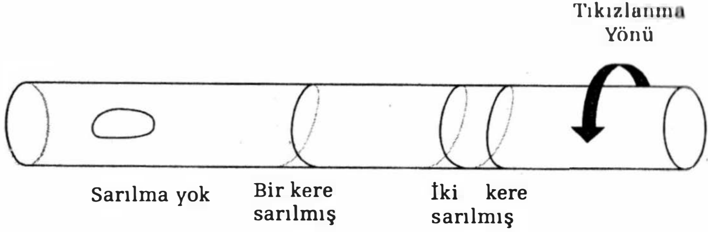
Bir fenomeni anlamanın iki değişik yolu varsa, ortada bir ikilik olduğunu söyleriz. Beraber olan bir çiftin ikisine de ilişkilerinin hikâyesini sorun. Öyküler farklılıklar gösterecek, ama

birindeki önemli bir olay diğerinde de önemli bir olaya karşılık gelecektir. Eğer çiftle uzun süre konuşursanız, öykülerin birbirlerine nasıl bağlandığını ve ne tür farklılıklar gösterdiğini öngörebilmeye başlarsınız. Örneğin bir kocanın eşi hakkında onun biraz iddiacı olduğu algısı, eşi tarafından kendisinin edilgen olduğu algısına bağlanıyor olabilir. Bu durumlarda iki betimlemenin birbirine ikili olduğunu söyleriz.

Sicim kuramcıları, bilinen beş kuramı birbirlerine bağlamak için, çeşitli ikiliklerden bahsetmeye başladılar. Bazı ikilikler *kesindir*: iki kuram aslında sadece aynı olgunun değişik ifadeleridir. Bazı ikiliklerse *yaklaşıktır*. Bu durumlarda iki kuram aslında farklıdır ama birindeki bazı olgular diğerindekilerle benzerlikler taşır ve bunun sonucunda birini çalışırken öbürü hakkında yaklaşık olarak geçerli bilgiler elde edebiliriz.

Sicim kuramları arasında var olan en basit ikilik *T-ikiliği* olarak adlandırılır. Burada "T" topolojik anlamında kullanılır çünkü bu ikilik uzayın topolojisiyle ilgilidir ve eğer tıkız boyutlardan biri bir çemberse oluşur. Böyle olduğunda çemberin etrafına bir sicim sarabiliriz; aslında aynı sicimi birçok kere sarmak da mümkündür (Şekil 9). Sicimin kaç defa sarıldığını belirleyen sayıya *sarma sayısı* denir.

Başka bir sayı da sicimlerin nasıl titreştiğini belirler. Tıpkı piyano veya gitar telleri gibi sicimlerin de titreşim armonikleri vardır ve bu armonikleri doğal bir sayıyla tanımlarız. T-ikiliği bir çember etrafına sarılan sicim kuramları arasında bir ilişkidir. Bu çemberlerin çapları farklı olabilir ama birbirlerine bağlıdırlar: birinin çapı diğerinin çapının tersidir. Böyle durumlarda kuramlardan birindeki sicim sarma durumları diğerinde sicimlerin titreşme seviyelerine tam olarak denk düşer. Bu tür bir ikilik bilinen beş kuramın içindeki bazı kuram çiftleri arasında geçerlidir. Başlangıçta farklı olan bu kuramlar, içlerindeki sicimleri çemberlere sardığımızda aynı olurlar.



Şekil 9. *Sicimler gizli boyutların etrafına sarılabilirler. Burada uzay bir boyutludur ve gizli boyutsa bir çemberdir. Şekilde çemberin etrafına, sıfır, bir ve iki kere sarılmış sicimler gösteriliyor.*

Kesin olduğu iddia edilen başka bir ikilik daha vardır, ama bu henüz ispatlanmış değildir. 7. Bölümde gördüğümüz üzere sicim kuramlarında bir sicimin kırılma ve birleşme olasılığını belirleyen bir sayı vardır. Bu sicim etkileşim sabitidir ve genelde *g* olarak gösterilir. Eğer *g* küçükse sicimlerin kırılma ve birleşme olasılığı düşüktür ve etkileşimlerin zayıf olduğunu söyleriz. Bunun tersi geçerliyse, *g* büyüktür, sicimler sürekli kırılıp birleşirler ve etkileşmeler güçlüdür.

Şimdi, iki kuramın şöyle bir ilişki içinde olması mümkündür: Her kuramın kendi *g* sayısı vardır, ama bir kuramın *g* sabiti diğerinin *1/g*'sine eşitse kuramlar özdeş şekillerde davranırlar. Bu güçlü ve zayıf arasındaki ikilik S-ikiliği olarak adlandırılır. Eğer *g* küçük bir sayıysa sicimlerin etkileşimleri zayıftır, bu aynı zamanda *1/g* sayısının büyük olması ve diğer kuramdaki sicimlerin güçlü bir şekilde etkileştiği anlamına gelir.

Etkileşim sabitleri farklı kuramlar nasıl olur da aynı şekilde davranabilir? Sicim etkileşimlerinin güçlü ya da zayıf olduklarını ayırt edemez miyiz? Eğer sicimlerin ne olduğunu bilsek bunu yapabiliriz. Ama inanılan o ki, S-ikiliğinin geçerli olduğu durumlarda bu iki kuram gereğinden fazla sicime sahiptir.

Sicim sayısındaki bu artış, *belirme* olarak adlandırılan ve aslında bilindik fakat pek de anlaşılmamış olgunun bir örneğidir. Bu terim karmaşık sistemlerde yeni özelliklerin ortaya çıkmasına karşılık gelir. Temel parçacıkların hangi yasalara uyduğunu bilebiliriz ama bunlardan birçoğu bir araya geldiğinde yepyeni

fenomenler ortaya çıkar. Birçok proton, nötron ve elektron birleşerek bir metal oluşturabilirler; aynı sayıda parçacık içeren başka bir grup yaşayan bir hücreyi meydana getirebilirler. Metal parçası da yaşayan hücre de aslında sadece protonlar, nötronlar ve elektronlardan oluşan bir kümedir. Bu durumda, bir bakteriyi bakteri bir metal parçasını metal parçası yapanın ne olduğunu nasıl betimleyebiliriz? Bunları birbirlerinden ayıran özelliklere *beliren özellikler* denir.

Bir örnek: belki de metal bir çubuğun yapacağı en basit şey titreşmektir; çubuğun bir ucuna vurduğunuzda içinde bir ses dalgası yayılır. Çubuğun titreşeceği frekans beliren bir özelliktir, içinde yayılan ses dalgasının hızı da öyle. Kuantum mekaniğindeki dalga/parçacık ikiliğini hatırlayalım, buna göre her parçacığa karşılık gelen bir parçacık vardır. Bunun tersi de doğrudur: Her dalgaya karşılık gelen bir parçacık vardır ve buna bir metalin içinde hareket eden bir ses dalgasına karşılık gelen parçacıklar da dahildir. Bunlara *fonon* denir.

Fonon temel bir parçacık değildir. Metali oluşturan parçacıklardan biri hiç değildir. Varlığının tek kaynağı metali oluşturan yüksek sayıdaki parçacığın beraber hareketidir. Ama fonon yine de bir parçacık gibidir. Bir parçacığın bütün özelliklerine sahiptir. Kütlesi, gidimi ve enerjisi vardır. Kuantum mekaniğinin parçacık tanımına tam olarak uyar. Bunların ışığında fonon aynı zamanda *beliren bir parçacıktır.*

Buna benzer olguların sicimler için de geçerli olduğuna inanılır. Etkileşimler güçlü olduğunda çok sayıda sicim kırılıp tekrar birleşir ve her bir sicimin hareketini izlemek zorlaşır. Bu durumda, yüksek sayıda sicimin hareketinden kaynaklanan ve neler olduğunu anlamamızı kolaylaştıran beliren özellikleri ararız. İşler bu noktada eğlenceli bir hal alır. Birçok parçacığın birlikte yaptıkları titreşimlerin, fonon örneğinde olduğu gibi, tek bir parçacık olarak anlaşılabilmesine denk olarak yüksek sayıda sicimin beraber yaptıkları hareket beliren tek bir sicimin hareketi olarak anlaşılabilir. Buna *beliren sicim* diyebiliriz.

Beliren bu sicimlerin davranışları onları oluşturan diğer sıradan sicimlerinkilerin tam tersidir. Bu diğerlerine temel si-

cimler diyelim. Temel sicimler ne kadar fazla etkileşirse, beliren sicimler o kadar az etkileşir. Biraz daha kesin söylemek ister sek: İki temel sicimin etkileşme olasılığı g ise, bazı durumlarda beliren sicimlerin etkileşme olasılığı $1/g$ olur.

Temel sicimleri beliren sicimlerden nasıl ayırt edebiliriz? Görüyoruz ki, en azından bazı durumlarda, bu mümkün değildir. Anlaşılan, bazı durumlarda, bütün resmin negatifine bakarak, beliren sicimleri temel olarak alabiliyoruz. Zayıf ve güçlü sicim etkileşmelerini birbirine bağlayan S-ikiliği böyle çalışır. Durum sanki bir metale bakıp, gördüğümüz fononları –kuantum ses dalgalarını– temel olarak alıp metali oluşturan proton, nötron ve elektron kümesini beliren parçacıklar topluluğu olarak algılayabilmeye benzer.

Tıpkı T-ikiliği gibi S-ikiliği de beş süpersicim kuramı içindeki bazı çiftleri birbirine bağlar. Tek sorun bu ilişkinin sadece kuramın bazı halleri için mi geçerli olduğunun yoksa daha derin bir kavrama mı dayandığının anlaşılmasıdır. Bu önemlidir, çünkü bu bağlantıyı göstermek için kuram çiftlerinin belirli bakışımlar içeren bazı özel durumlarını almak zorundayız. Yoksa hesaplar üzerinde iyi sonuçlar almak için yeteri kadar kontrolümüz olmaz.

Bu durumda kuramcılar için iki yol beliriyor. İyimser olanlar –ki o günlerde bütün sicim kuramcıları iyimserdi– gösterilebilenin dışına çıkarak, kuram çiftleri arasında belli bazı bakışımları içeren özel durumlarından elde edilen benzerliklerin bilinen *bütün beş* kuram için de geçerli olduğunu farz ettiler. Yani özel bakışımlar olmasa da beliren sicimlerin var olacağını ve bunların başka bir kuramın temel sicimleri gibi davranacağını kabul ettiler. Bunun anlamı da S-ikiliğinin sadece iki kuramın bazı özelliklerini bağlamakla kalmadığı, aslında kuramların tamamen eşdeğer olduğunu söylüyor olmasıdır.

Öte yandan, kötümser olan bir azınlık bu beş kuramın tamamen farklı olmasından endişe ediyordu. Bir kuramda beliren sicimlerin bazı durumlarda diğer bir kuramın temel sicimleri gibi davranmasının harika olduğu üzerine hemfikirdiler ama böyle bir durumun kuramların tamamen farklı olduğu durumlarda bile gerçekleşebileceğini fark etmişlerdi.

Birçok şey –şimdi de öyle olduğu gibi– iyimserlerin mi kötümserlerin mi haklı çıkacağına bağlıydı. Eğer iyimserler haklıysa o zaman bilinen beş süpersicim kuramı sadece tek bir kuramın farklı ifadeleri olacaktır. Kötümserler haklı çıkarsa, bunlar farklı kuramlardır ve tek bir temel kuramın varlığından bahsedemeyiz. S-ikiliğinin kesin mi yaklaşık mı olduğunu anlamadan, sicim kuramının tek olup olmadığını bilemeyiz.

İyimserleri destekleyen bir kanıt bunlara benzer ikiliklerin sicim kuramından daha basit olan ve daha iyi anlaşılmış bazı sistemlerde de rastlamış olmasıdır. Bunlardan biri, mümkün olan en fazla süpersimetriye sahip N=4 süper-Yang-Mills kuramıdır. Buna kısaca *en süper kuram* diyeceğiz. Bu kuramın bir tür S-ikiliğine sahip olduğuna dair güçlü kanıtlar var. Kabaca şöyle işliyor. Kuramda belirli bir sayıda elektrik yüklü parçacık var. Kuramda aynı zamanda bazı beliren manyetik yüklü parçacıklar da bulunuyor. Şimdi, normalde manyetik yüklere rastlanmıyor, sadece manyetik kutuplar var. Her mıknatısta iki kutup bulunuyor ve bunları kuzey ve güney kutupları olarak adlandırıyoruz. Fakat bazı özel durumlarda birbirlerinden ayrık davranabilen belirmiş kutuplara rastlayabiliyoruz, bunlara *tek kutup* diyoruz. En süper kuramda elektrik yükleri manyetik tek kutuplarla değiş tokuş etmemizi sağlayan bir simetri bulunabiliyor. Bu simetri varsa elektrik yüklerin eski değerlerinin çarpımsal tersini alıp bunları yeni yük değerleri olarak kabul ettiğimizde kuramın betimlediği fizikte bir değişiklik olmadığını görüyoruz. En süper kuram gerçekten de dikkate değer bir yapıya sahiptir. Yakında göreceğimiz gibi ikinci süpersicim devriminde merkezi bir rolü olmuştur. Fakat daha önce Witten'ın Los Angeles'taki ünlü konuşmasına dönmek istiyorum; artık ikilikler hakkında biraz daha bilgi sahibi olduğumuza göre önerdiği varsayımı açıklayabilirim.

Bahsettiğimiz gibi, Witten'ın konuşmasındaki temel fikir tutarlı beş süpersicim kuramının aslında aynı kuram olmalarıdır. Fakat bu tek kuram ne *idi*? Witten bunu söylemedi, ama bu kuram hakkında çarpıcı bir savda bulundu. Bütün sicim kuramla-

rını birleştirecek kuram bir ek boyuta ihtiyaç duymalıydı. Artık, uzayın on uzayzamanınsa on bir boyutu vardı.[1]

Bu sav ilk olarak İngiliz fizikçiler Christopher Hull ve Paul Townsend tarafından, Witten'ın konuşmasından bir yıl önce önerilmişti.[2] Witten bu sav hakkında sadece bilinen beş sicim kuramının arasındaki ikilikleri değil aynı zamanda bu kuramlarla on bir boyutlu kuramlar arasındakileri de kullanarak oldukça fazla kanıt bulmuştu.

Sicim kuramlarının birleştirilmesi neden fazladan bir boyut gerektiriyordu? Bu fazladan boyutun bir özelliği –Kaluza-Klein kuramındaki fazladan çemberin çapı– diğer boyutlara göre değişen bir alan gibi algılanabilirdi. Witten bu benzerliği kullanarak sicim kuramındaki belli bir alanın aslında on birinci boyuttaki çemberin çapı olduğunu öne sürmüştü.

Bu ek boyut ne ölçüde yardımcı olacaktı? Ne de olsa on bir boyutta tutarlı bir süpersicim kuramı yoktu. Ama on bir boyutta süpersimetrik bir kütleçekim kuramı mümkündü. Bu 7. Bölümden de hatırlayacağınız gibi süper-kütleçekim kuramlarının içinde en yüksek boyutlu kuramdır, süper-kütleçekimin Everest'idir. Witten bunlara dayanarak sicim kuramında yer alan yukarıda bahsettiğimiz alanın on birinci boyut olarak algılanabileceğini ve bu on bir boyutlu dünyanın da –en azından kuantum etkileri göz ardı edildiğinde– on bir boyutlu süper-kütleçekimle betimlendiğini öne sürüyordu.

Dahası, on bir boyutta bir sicim kuramı olmamasına rağmen, bu boyutlarda gezinen iki boyutlu nesnelerin bir kuramı *vardı*. Bu kuram en azından klasik seviyede oldukça güzel bir kuramdır. 1980'li yılların başlarında icat edilmiştir ve *on bir boyutlu süperzar kuramı* olarak adlandırılır.

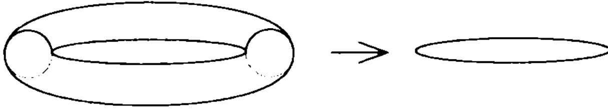
Sicim kuramcılarının çoğu, Witten'ın konuşmasına kadar süperzar kuramına dikkat etmemişlerdi. Bunun için iyi sebepleri vardı: Kuramın kuantum mekaniğiyle uyumlu olup olmayacağı

[1] E. Witten, "String Theory Dynamics in Various Dimensions," hep-th/9503124, *Nucl. Phys. B.* 443, s. 85-126, (1995).

[2] C.M. Hull and P. Townsend, "Unity of Superstring Dualities," hep-th/9410167, *Nucl. Phys. B*, 438, s. 109-37, (1994).

bilinmiyordu. Bazıları bu uyumu sağlamaya çalışmış ama başarısız olmuşlardı. 1984'te ilk süpersicim devrimi gerçekleştiğinde birçok araştırmacı on bir boyutlu kuramları terk etmişti.

Ama şimdi, Witten'ın izinden giderek sicim kuramcıları on bir boyuttaki zar kuramını canlandırmayı öneriyorlardı. Böyle yaptılar çünkü birçok hayret verici olgunun farkına varmışlardı. İlk olarak, on bir boyuttan birini bir çember alırsak zarın bir boyutunu bunun etrafına sarabiliriz (Şekil 10). Bunun ardından zarın diğer boyutu kalan dokuz uzay boyutunda rahatça hareket edebilir. Bu dokuz boyutlu bir uzayda hareket eden bir boyutlu bir cisimdir. Tam da bir sicim gibi gözüküyor.



Şekil 10. *Solda iki boyutlu bir zar görüyoruz. Çember olarak aldığımız ufak bir boyuta sarılıyor. Uzaktan bakıldığında (sağdaki çizim) geniş boyuta sarılmış bir sicime benziyor.*

Witten, zarın bir boyutunu çembere değişik şekillerde sararak bilinen tutarlı beş sicim kuramının hepsini türetebildi. Dahası, sadece bu kuramları bulabilirdiniz; başkası yoktu.

Hepsi bu kadar değil. Bir sicim bir çemberin etrafına sarıldığında, T-ikiliği denen dönüşümler olduğunu hatırlayalım. Diğer ikiliklere kıyasla, bunların kesin olduğunu biliyoruz. Bu tür dönüşümlere bir zarın bir boyutu bir çembere sarıldığında da rastlıyoruz. Bu dönüşümleri zar sarmanın yol açtığı sicim kuramları açısından incelersek bunların tam da bu sicim kuramlarını birbirlerine bağlayan güçlü-zayıf ikiliklere, yani S-ikiliklerine benzediğini görürüz. Hatırlarsanız bu ikiliklerin, bazı özel durumlar dışında ispatlanmamış, sadece varsayılmış olduğunu söylemiştik. İşte şimdi bunların on bir boyutlu kuramın kesin olarak geçerli dönüşümlerinden kaynaklandığını görüyoruz. Bu o kadar güzel ki on bir boyutlu bir birleştirici kuramın varlığına inanmamak zor. Geriye kalan tek sorunsa bu kuramı keşfetmekti.

O yılın ilerleyen günlerinde Witten, bu henüz-tanımlı olmayan kurama bir isim taktı. Kuramı oldukça parlak bir şekilde adlandırmıştı: Ona kısaca *M-kuramı* dedi. "M" harfinin ne anlama geldiğini söylemek istemedi çünkü kuram henüz ortada değildi. Kuramın kalanını icat ederek kelimenin geriye kalan harflerini bulup ismi ortaya çıkarmalıydık.

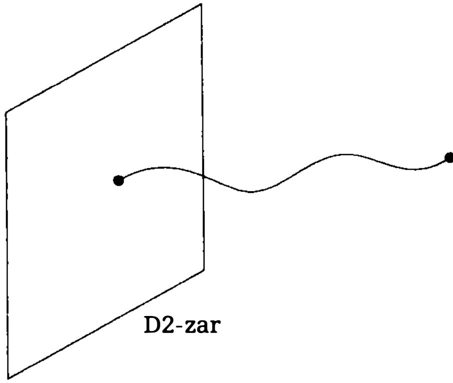
Witten'ın konuşması birçok soru sorulmasına sebep oldu. Eğer haklıysa, keşfedilecek çok şey olmalıydı. Konuşmayı izleyenler arasında, Santa Barbara'da çalışan bir sicim kuramcısı olan Joseph Polchinski de vardı. Şöyle söylüyor, "Ed'in konuşmasından sonra, onu daha iyi anlayabilmek için kendime yirmi ev ödevi belirledim." Bu ev ödevleri sayesinde ikinci süpersicim devriminde merkezi olacak bir keşfe imza atacaktı: sicim kuramı sadece sicimlerin kuramı değildi. On boyutlu uzayda yaşayan diğer şeyler de vardı.

Akvaryumlardan pek anlamayanlar sadece içindeki balıklardan ibaret olduklarını düşünebilirler. Uzmanlarsa bilirler ki balıklar sadece bir akvaryumda gözümüze ilk çarpan canlılardır. Sağlıklı bir akvaryumun yolu bitkilerden geçer. Bir akvaryumu sadece balıklarla doldurursanız sonu pek iyi olmaz. Kısa sürede havuz halinde bir morga sahip olursunuz. Anlaşılan 1984'ten 1995'e kadar süren birinci süpersicim devriminde bizler bir akvaryumu sadece balıklarla dolduran amatörler gibi davranmışız. Sistemin doğru düzgün çalışması için gerekli şeylerin çoğundan bihabermişiz, ta ki Polchinski eksik temelleri keşfedene kadar.

1995 Sonbaharında, Polchinski sicim kuramının tutarlılığı için sadece sicimlere değil ardalan uzayında hareket edebilen daha yüksek boyutlu yüzeylere de ihtiyaç duyulduğunu gösterdi.[3] Bu yüzeyler aynı zamanda dinamik nesnelerdir. Tıpkı sicimler gibi uzayda serbestçe hareket edebilirler. Eğer bir boyutlu bir nesne olan bir sicim temel olabiliyorsa neden iki boyutlu bir yüzey temel olamasın? Hatta daha fazla yer içeren daha yüksek boyutlarda neden üç, dört hatta beş boyutlu yüzeyler temel

[3] J. Polchinski, "Dirichlet Branes and Ramond-Ramond Charges," *Phys. Rev. Lett.* 75(26), s. 4724-27 (1995).

nesneler arasında katılmasın? Polchinski, sicim kuramındaki ikiliklerin işlemesi için daha yüksek boyutlu nesnelerin de var olması gerektiğini gösterdi. Bunlara *D-zar* adını verdi. ("D" harfi, burada üzerine eğilmeyeceğimiz teknik bir ayrıntıya gönderme yapıyor.) Zarlar sicimlerin hayatında özel bir rol oynuyorlar: açık sicimlerin uçları zarlara değebiliyor. Genelde sicimlerin uçları uzayda serbestçe hareket edebilir, ama bazı durumlarda sicimin uçları bir zara yapışık kalmak zorunda kalabilir (Şekil 11). Bunun temel sebebi zarların elektrik ve manyetik yüklere sahip olabilmesidir.



Şekil 11. *Üzerine bir sicim yapışmış iki boyutlu bir zar.*

Sicimlerin açısından zarlar ardalan geometrisinin ek özellikleri gibidir. Zarların varlığı, içinde sicimlerin yaşayabileceği ardalan geometrilerinin sayısını oldukça artırarak kuramı zenginleştirir. Karmaşık bir geometride fazladan boyutları sarmanın yanında zarları bu geometri içindeki halka ve yüzeylere sarabiliriz. İstediğimiz kadar zar kullanabiliriz ve onları tıkız boyutlar etrafına istediğimiz sarma sayısında yerleştirebiliriz. Bu yöntemlerle sicim kuramları için sonsuz sayıda ardalan oluşturabiliriz. Polchinski'nin bu yaklaşımının çok büyük sonuçları olacaktı.

Zarlar aynı zamanda sicim ve ayar kuramları arasındaki ilişkileri daha derinden anlamamızı sağlar: Birçok zar üst üste

yığılarak, sicim kuramında yeni simetrilere yol açabilir. Söyle diğimiz gibi sicimlerin uçları zarlarda son bulabilir. Ama eğer aynı yerde birden çok zar bulunuyorsa, sicimin bunlardan han gisine bağlandığı önemsiz olur. Bu da yeni tür bir simetri ortaya çıkarır. Simetrilerse, 4. Bölümde gördüğümüz gibi, ayar kuramlarıyla ilintilidir. Nihayetinde, sicim kuramları ile ayar kuramları arasında yeni bir bağ bulmuş oluruz.

Zarlar içinde yaşadığımız üç boyutlu dünyanın sicim kuramının ek boyutlarıyla ne tür bir ilişki içinde olabileceğine de ışık tutar. Polchinski'nin keşfettiği zarlardan bazıları üç boyutludur. Üç boyutlu zarları üst üste getirerek, daha yüksek boyutların içinde yaşayan ve simetrilerini istediğimiz gibi ayarlayabileceğimiz üç boyutlu dünyalar oluşturabiliriz. Üç boyutlu dünyamız, ek boyutlar içinde duran böyle bir yüzey olabilir mi? Bu büyük bir fikirdir ve *zar-dünyalar* olarak anılan yeni bir araştırma alanına yol açmıştır. Bunlara göre evrenimiz daha yüksek boyutlu bir evrende gezinen bir zardır.

Zarlar bütün bunlara yol açtı, ama daha fazlasını da sağladılar. Onlar sayesinde sicim kuramına bazı özel kara delik çözümleri ekleyebiliyoruz. Andrew Strominger ve Cumrun Vafa'nın 1996'da yaptığı bu keşif, ikinci süpersicim devriminin belki de en önemli buluşudur.

Zarların kara deliklerle olan ilişkisi dolaylı fakat çok güzeldir. Şöyle anlatabiliriz: Kütleçekimi sıfırlayarak işe başlarız (bunu yapmak için sicim etkileşim sabitini sıfır almak yeterli olur). Kütleçekimden başka bir şeyden ibaret olmayan kara delikleri böyle ifade etmek garip gelse de neler olacağına dikkat edelim. Kütleçekim sıfır olduğunda, fazladan boyutların etrafına sarılmış zarları çalışacağız. Şimdi, zarların elektrik ve manyetik yükler taşıdığını da hatırlayalım. Bir zarın taşıyabileceği yükün bir sınırı vardır ve bu sınır zarın kütlesine bağlıdır. Olası en fazla yükü taşıyan zarlar oldukça özeldir ve onlara *azami zar* denir. Daha önce örneklerini verdiğimiz gibi, bu durumda elimizde fazladan bir simetri olur ve hesaplarımızı daha kesinlikle gerçekleştirebiliriz. Bu fazladan simetriler fermiyonlarla bozonları birbirlerine bağlayan birçok değişik süpersimetriden oluşmuştur.

Bir kara deliğin de kararlı kalarak taşıyabileceği elektrik ve manyetik yüklerin azami bir sınırı vardır. Bunlara *azami kara delikler* denir ve genel göreliliğin uzmanları bunlar üzerine yıllar boyunca çalışmıştır. Bu kara deliklerin oluşturduğu ardalanda hareket eden parçacıkların fiziğine baktığımızda yine birçok farklı süpersimetriye rastlarız.

Şaşırtıcı bir şekilde, kütleçekim sıfırlanmış olmasına rağmen, azami zarlardan oluşan sistemler, azami kara deliklerle ortak özelliklere sahiptir. En önemlisi bu iki sistemin termodinamik özellikleri aynıdır. Böylece ek boyutlara sarılmış azami zarların termodinamiğini çalışarak, azami kara deliklerin termodinamik özelliklerini türetmeyi umabiliriz.

Kara delik fiziğinin en önemli problemlerinden biri Jacob Bekenstein'ın ve Stephen Hawking'in bulmuş olduğu kara delik entropisinin ve sıcaklığının açıklanmasıdır (6. Bölüme bakınız). Sicim kuramının sunduğu yeni fikre göre bunu yapmanın bir yolu –en azından azami kara delikler için– ek boyutlara sarılmış azami zarları çalışmaktır. Gerçekten de bu iki sistemin birçok özelliği tam olarak örtüşmektedir. Bu neredeyse mucizevi rastlantıya yol açan şey bahsi geçen iki sistemde de fermiyonlara bozonları ilişkilendiren birçok süpersimetrinin bulunmasıdır. Bu bakışımlar iki sistem arasında güçlü bir matematiksel benzerlik yaratır ve bunların termodinamik özelliklerini birbirine bağlar.

Bütün hikâye bununla da kalmıyordu. Aynı zamanda azami yükten biraz daha az yük taşıyan, *neredeyse* azami kara delikleri de bu şekilde çalışabiliyorduk. Zarlar dünyasında da neredeyse azami sistemleri çalışmak mümkündü. Bu durumda da benzerlik devam edecek miydi? Bunun cevabı olumludur hem de kesinlikle. Azami durumlara yakın halleri çalışmak kaydıyla zarlar ve kara delikler aynı özelliklere sahiptir. Bu durum bize bağlantının çok daha kesin olduğunu gösterir. Her iki sistemde de enerji ve entropi gibi büyüklükler ile sıcaklık arasında kesin ve karmaşık ilişkiler vardır. Buna rağmen, iki sistem birbiriyle uyum içindendir.

1996 yılında yaz boyunca kalmak için Trieste'ye gitmiştim ve orada bu konular üzerine bir konferansta dersler veren Juan

Maldacena'yı dinlemiştim. Hayretler içinde kalmıştım. Zarların ve kara deliklerin davranışlarındaki bu kesin özdeşlik üzerine tekrar sicim kuramı üzerine çalışmaya karar verdim. Maldacena'yı Adriyatik kıyısındaki bir pizzacıya götürdüm. Tanıdığım genç sicim kuramcıları arasındaki en zeki ve algısı en keskin fizikçiydi. O gece üzerine eğildiğimiz konulardan biri de zar sistemlerinin kara deliklere model oluşturmaktan başka yönleri olup olmadığıydı. Kara delik entropisi ve sıcaklığı hakkında gerçekten de bir açıklama getiriyorlar mıydı?

Buna cevap veremedik ve ucu açık kaldı. Cevap bulunan sonuçların önemine bağlıydı. Daha önce fazladan simetrilerin yeni buluşlara yol açtığını görmüştük, burada da aynısı oluyordu. Yine olası iki bakış açısı vardı. Kötümser yaklaşıma göre benzerlik sadece iki sisteminde aşırı derecede simetrik olmasından kaynaklanan bir rastlantıydı. Kötümser biri için hesapların güzel olması kara delikler üzerindeki anlayışımızı artırmıyordu. Tam tersine, kötümser birine göre hesaplar güzeldi, çünkü gerçek sistemlere genelleştirilemeyecek kadar simetri içeren haller üzerine yoğunlaşılmıştı.

İyimser biriyse bunu farklı algılayacaktır. Ona göre bağlantı gerçekten de vardır ve özel durumlardaki fazladan simetrilerin rolü sadece daha kesin hesaplar yapmamızı sağlamaktan ibarettir. Güçlü-zayıf arasındaki S-ikiliğindeki gibi, iyimserlerin mi yoksa kötümserlerin mi haklı olduğunu anlayabilmek için yeterli bilgiye sahip değiliz. Elimizdeki örnekte fazladan bir endişe daha var: üst üste yığılmış zarlar kara delik değiller, çünkü onların kütleçekimini sıfırladık. Varsayılan çıkış yoluna göre, kütleçekimi yavaşça açtığımızda zarların kara deliklere dönüşmesi gerekiyor. Aslında sicim kuramında bunun olabileceğine dair emareler yok değil çünkü sicim etkileşme sabiti uzay ve zamanda değişebilen bir alanla ifade ediliyor. Yine de kütleçekim kuvvetinin zamanla değişebildiği süreçler sicim kuramı tarafından çok da iyi anlaşılmış sayılmaz.

Kara delikler üzerin yaptığı çalışmaların güzelliğine rağmen, Maldacena aslında işe yeni başlıyordu. 1997 yılı sonbaharında içinde yeni bir tür ikiliğin önerildiği ve herkesi hayrete düşüren

bir makale yayımladı.[4] Şu ana kadar bahsettiğimiz ikiliklerin hepsi aynı uzayzaman boyutlarına sahip aynı tür kuramların birbirleriyle ilişkilendirilmesine dayanıyordu. Maldacena'nın devrim yaratan fikrine göre sicim kuramı bir tür ayar kuramıyla ikilik içinde olabilirdi. Bu şaşırtıcıdır, çünkü sicim kuramı bir kütleçekim kuramıdır ama bir ayar kuramı sabit bir ardalan üzerine inşa edilmiş kütleçekimi içermeyen bir sistemdir. Ve dahası bu ayar kuramı ikili sicim kuramından daha az sayıda uzayzaman boyutunda tanımlıydı.

Maldacena'nın önerisini anlamanın bir yolu, 7. Bölümde gördüğümüz gibi, sicim kuramının elektrik alanın akı çizgilerini çalışarak elde edilebileceğini hatırlamaktan geçer. Burada elektrik alanın akı çizgileri kuramın temel nesneleri olarak ele alınır. Bir boyutlu oldukları için sicimlere benzerler. Çizgilerin beliren sicimler olduğunu söyleyebiliriz. Birçok durumda bu beliren sicimler, sicim kuramındaki sıradan sicimlerden çok farklıdır. En başta, kütleçekimle hiçbir alakaları yok gibidir ve kuvvetlerin birleştirilmesini sağlamazlar.

Yine de Alexander Polyakov, bir ayar kuramı çerçevesinde beliren sicimlerin bazı durumlarda temel sicimler gibi davranabileceğini göstermiştir, fakat bu ayar kuramı sicimleri bilinen dünyamızda yer almaz; konunun tarihinde en fazla imgeleme sahip makalelerden biri olan bu incelemesinde Polyakov bunların fazladan bir boyut içinde yaşadıklarını önermişti.[5]

Polyakov bu fazladan boyutu eklemeyi nasıl başarmıştı? Kuantum mekaniksel olarak incelendiğinde ayar kuramından kaynaklanan sicimlerin beliren bir özelliği olduğunu bulmuştu. Bu özellik sicimin her noktasına iliştirilebilecek bir sayıyla ifade ediliyordu. Bu sayı aynı zamanda bir uzunluk olarak da görülebilir. Polyakov sicimin bir noktasına atfedilmiş sayının o noktanın ek bir boyut içindeki konumu olarak görülebileceğini önerdi.

---

[4] J. Maldacena, "The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity," hep-th/9711200, *Adv. Theor. Math. Phys.*, 2, s. 231-52 (1998), *Int. J. Theor. Phys.*, 38, s. 1113-33 (1999).

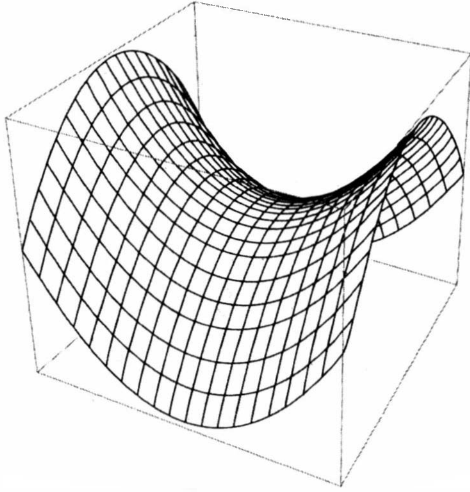
[5] A. M. Polyakov, "A Few Projects in String Theory," hep-th/9304146.

Beliren bu özelliği göz önüne aldıktan sonra elektrik akı çizgilerinin ek bir boyutta yaşadıklarını kabul etmek son derece doğaldı. Böylelikle Polyakov üç uzay boyutu içeren bir ayar kuramıyla dört uzay boyutunda tanımlı bir sicim kuramı arasında bir ikilik keşfetmiş oluyordu.

Bu konudaki ilk genel öneriyi yapan Polyakov olmasına rağmen fikri ilerleten Maldacena oldu. Çalıştığı modelde üç boyutlu dünyamız azami süpersimetriye sahip ayar kuramını içeriyordu. Maldacena, bu ayar kuramında beliren sicimlerin özelliklerini çalıştı. Polyakov'un önerini genişleterek, beliren bu sicimleri ifade eden kuramın aslında on boyutlu bir süpersicim kuramı olduğunu hakkında kanıtlar buldu. Bu sicimlerin yaşadığı boyutlardan dördü Polyakov'un makalesindekilere benziyordu. Geriye kalan beş boyut Kaluza-Klein kuramındaki (3. Bölüm) ek boyutlara denkti. Bu beş boyut bir küre olarak ele alınıyordu. Polyakov'un makalesindeki dört boyut da eğridir, ama kürenin tersi olacak şekilde; bu tür uzaylara kimi zaman *eğer şeklinde* uzaylar da denir (Şekil 12). Bu uzaylar negatif kara enerjiye sahiptir.

Maldacena'nın savı Polyakov'un önerisinden çok daha cesur sayılırdı. Çok büyük bir yankı uyandırdı ve o zamandan beri üzerine binlerce makaleye yazıldı. Henüz ispat edilmiş değildir ama sicim kuramıyla ayar kuramı arasında en azından yaklaşık bir bağ olduğuna dair ciddi sayıda kanıt bulunmaktadır.

Bu konu son derece önemliydi –hâlâ da önemlidir– ve birçok şey ona bağlıydı. Eğer Maldacena savı doğruysa iki kuram birbirine eşdeğerdir ve bu durumda sicim kuramının kesin bir kuantum ifadesine varırız. Süpersicim kuramı üzerine sorulabilecek her soru, bir ayar kuramı olan en süper kuram hakkında bir soruya dönüştürülebilir. İlke olarak bu, sicim kuramının ardalana bağımlı olarak ve sadece bir yaklaşıklık çerçevesinde ifade edilebildiği daha önceki durumlardan çok daha zengindir.



Şekil 12. *Negatif enerji yoğunluğu olan uzaylara bir örnek oluşturan, eyer şeklindeki bir yüzey.*

Yine de dikkat etmek gereken birçok nokta vardır. Doğru olsa bile savlanan ikiliğin faydalı olabilmesi için iki taraftaki kuramlardan en az birini kesin olarak tanımlayabilmeliyiz. Şu ana kadar sicim kuramını sadece bazı özel durumlarda tanımlamak mümkün olmuştu. Ümidimiz diğer yönden yaklaşıp, en süper kuramı kullanarak sicim kuramını tanımlayabilmekti. En süper kuram hakkında birçok şey bilmemize rağmen bu kuram henüz kesin olarak tanımlanmamıştır. Durumu iyileştirebileceğimiz üzerine ümitler sönmedi, ama bunun için teknik zorlukların üstesinden gelmemiz gerekiyor.

Eğer Maldacena savı yanlışsa en süper kuram ve sicim kuramı farklıdır. Bu durumda dahi en azından yaklaşık bazı benzerlikler olabileceği üzerine kanıtlar mevcut. Bu yaklaşıklıklar bir kuramı diğeri cinsinden ifade etmeye yaramayabilir ama yine de birinin özellikleri üzerine diğerini kullanarak hesaplar yapabilmemizi sağlarlar. Bu yönler doğrultusunda birçok verimli çalışma yapıldı.

Örneğin yaklaşıklık çerçevesinin en alt seviyesinde, on boyutlu kuram süpersimetriyle zenginleştirilmiş bir genel görelilik

kuramı olarak gözüküyor. Bu kuram iyi tanımlıdır ve kuantum mekaniği içermez. Bu kuramda hesap yapmak kolaydır, örneğin değişik dalgaların on boyutta nasıl hareket ettiği zahmetsizce ifade edilebilir. Kayda değer olan özellik, Maldacena'nın savı sadece bu en alt seviyede bile geçerli olsa, bunun bize üç boyuttaki ikili ayar kuramının bazı özelliklerini hesaplama becerisi sağlamış olmasıdır.

Buradan hareketle diğer ayar kuramlarının özellikleri hakkında anlayışımızı derinleştirebiliriz. Sonuçta, en düşük yaklaşıklık seviyesinde bile kalsa, sicim kuramlarının ve ayar kuramlarının arasında Maldacena'nın önerdiği gibi bir benzerlik olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır. Maldacena'nın önerisi yanlış bile olsa –hatta sicim kuramı yanlış çıksa bile– süpersimetrik ayar kuramlarını daha iyi anlamak için güçlü yöntemler edinmiş durumdayız.

Yıllarca süren araştırmalardan sonra bu noktalar birbirine karıştırılmış durumda. Esas sorun, sicim kuramlarıyla en süper kuram arasında olan ilişkinin ne olduğu. Kanıtların çoğu Maldacena önerisinin zayıf bir şeklini destekliyor. Bu zayıf şekle göre kuramların birindeki bazı büyüklükleri diğer kuramın yöntemleriyle, o da ancak bir yaklaşıklık olarak, hesaplamak mümkündür. Bu bile söylediğim gibi önemli uygulamaları olan bir sonuçtur. Ama birçok sicim kuramcısı önerinin, kuramların tamamen eşdeğer olduğunu söyleyen şekline inanmayı tercih ediyor.

Bu S-ikiliği savına benziyor. Orada da savın doğruluğunu ancak fazladan simetriler içeren özel durumlar için sınayabiliyorduk. Orada olduğu gibi burada da, kötümserler fazladan simetrilerin kuramları gerçekte olduklarından fazla ilintili gösterdiği üzerine endişe duyuyor, iyimserlerse bu fazla simetrileri esasta gerçek olan ikiliğin varlığını sadece daha kolay göstermeye yaradıklarını düşünüyor.

En nihayetinde, Maldacena savının doğru olup olmadığı önemli bir sorudur. Önem arz ettiği konulardan biri de kara delikler fiziğidir. Kara delikler negatif kara enerjili evrenlerde de var olabilirler ve bu sistemleri Maldacena savını kullanılarak

çalışıp Stephen Hawking'in ortaya koymuş olduğu kara delik bilgi ikilemine çözümler bulabiliriz. Önerinin iki kuram arasında kurduğu bağlantının kesin ya da yaklaşık olup olmadığına bağlı olarak bu ikilemin çözümlenmesi farklılıklar gösterebilir.

Bir kara deliğin içindeki kütleçekim ile ayar kuramı arasında sadece kısmi bir ilişki olduğunu kabul edelim. Bu durumda kara delik bilgiyi sonsuza kadar hapsedebilir; hatta çok önceleri John Archibald Wheeler ve Bryce DeWitt'in önerdiği gibi, bilgiyi kara deliğin merkezindeki tekillikten doğacak yeni bir evrene iletebilir. Bu durumda bilgi kaybolmuş olmaz çünkü sadece yeni evrene nakledilmiştir, ama yine de kara deliğin ufku dışındaki bir gözlemci için bu bilgiye bir daha erişilemez. Böyle bir kayıp sınırdaki ayar kuramı kara deliğin içi hakkında kısmi bir bilgiye sahipse mümkündür. Fakat iki kuram arasındaki bağlantının kesin olduğunu kabul edersek, ayar kuramında ufuklar ya da tekillikler olmadığından bilginin kaybolacağı hiçbir yer yoktur. Eğer ayar kuramı bir kara delik uzayzamanıyla gerçekten eşdeğerse o zaman kara deliklerde de bilgi kaybı olamaz. Birinci durumda bilgi kaybına uğrayan gözlemciler vardır, ikincisindeyse yoktur. Bu kitap yazılırken bu konu hâlâ açıklığa kavuşmuş değildir.

Birçok defa gördüğümüz gibi süpersimetri, sicim kuramında temel bir rol oynar. Bu simetriye sahip olmayan sicim kuramlarında kararsızlıklar vardır ve bunlar kontrol altına alınmazsa kuram çökene kadar gitgide daha fazla sayıda takyon yaratılmasına sebep olurlar. Bu durum dünyamıza hiç benzemez. Süpersimetri bu davranışı düzenler ve kuramı kararlı kılar. Ama bazı açılarından bunu biraz fazla iyi yapar. Bunun sebebi süpersimetrinin zaman için geçerli bir simetriye yol açması ve buna bağlı olarak da *zamanla değişen bir uzayzamanı* ardalan alacak süpersimetrik bir kuramın mümkün olmamasıdır. Kuramı kararlı kılmak için kullanılan özellik aynı zamanda kuramın, bir kuantum kütleçekim kuramından beklediğimiz, Büyük Patlamadan hemen sonra ne oldu ya da bir kara deliğin ufkunun çok içerisinde neler var gibi sorulara cevap vermesini zorlaştırır. Bu iki örnekte de uzayzaman geometrisi zaman içinde hızla değişir.

Bu tür sorunlar ikinci süpersicim devrimi sürecinde öğrendiğimiz şeylerin kendine has bir özelliğidir. Anlayışımız, daha önce eşine rastlanmamış hayret verici buluşlar sayesinde son derece genişlemişti. Gerçeğin ne olabileceği üzerine bize boşa ümit veren ipuçları sunuyor ve her daim var olan bir sır perdesinin arkasına bir bakabilsek bunu daha iyi anlayacağımızı söylüyordu. Ama ne kadar denersek deneyelim yapmak istediğimiz hesaplamaların çoğu erişilmez durumda kalıyordu. En ufak bir sonuca ulaşabilmek için özel örnekler seçip bunların özel durumlarına bakmamız gerekiyordu. Bu *yapabildiğimiz* hesaplardan çıkarılan sonuçların genel durumlar için geçerli olup olmadığınıysa çoğunlukla bilemiyorduk.

Kendi adıma, işlerin böyle gitmesini çok asap bozucu buluyorum. Ya tüm şeylerin kuramına doğru hızla yol alıyorduk ya da kaptırmış, sonuçları akılcı olmayan şekilde gereğinden fazla ileri götürüp, yapabildiğimiz hesapları da hep en iyimser şekilde yorumluyorduk. 1990'ların ortalarında bu düşüncelerimi sicim kuramının önde gelenleriyle paylaştığımda bana kaygılanmamamı bütün bunların aslında sadece kuramın bizden daha akıllı olmasından kaynakladığı söylenmişti. Yine bana söylenmişti ki, kurama dolaysız sorular yöneltip yanıt bekleyemezdik. Büyük problemleri çözmek için atılacak her dolaysız adım başarısızlığa mahkûmmuş. Bunun yerine kurama güven duyup onu izlemeli, yetersiz hesaplama yöntemlerimiz aracılığıyla bize kendini belli etmeyi seçtiği yönlerini araştırmakla yetinmeliymişiz.

Sadece tek bir bit yeniği var. M-kuramının gerçek bir kuantum şekli, her kuantum kütleçekim kuramı gibi ardalandan bağımsız olmalıdır. Bu ve bundan önce saydığımız sebeplerden başka olarak, M-kuramının diğer beş süpersicim kuramını, bütün değişik geometrileri ve uzayzamanlarıyla, içermesi beklendiği için de ardalandan bağımsız olmalıdır. Buna bütün bu geometrilerin bütün uzay boyutlarının nasıl sarılıp sarmalanacağı da dahildir, sarılmış tek bir boyuttan on boyuta kadar. Bunların hepsi sicimlerin ve zarların hareketi için ardalanlar oluşturur. Ama bunlar tek bir kuramın parçaları olacaksa o kuram ardalana bağımlı olamaz çünkü bütün ardalanları içermelidir.

O zaman, M-kuramı için anahtar sorun onun kuantum kuramıyla uyuşacak ve ardalandan bağımsız bir ifadesini bulmaktır. Bu önemli bir sorundur; belki de sicim kuramın içindeki en önemlisi. Ne yazık ki bunun hakkında yeteri kadar ilerleme sağlanamadı. Bazı etkileyici ipuçları bulduk ama hâlâ M-kuramının ne olduğunu bilmiyoruz ya da bu ismi hak eden bir kuram olup olmadığını.

Kuantum mekaniksel bir M-kuramını kurmak doğrultusunda bazı ilerlemeler kaydedilmişti, fakat bu araştırmalar yine özel bir ardalan üzerinde yapılmıştı: 1980'lerde on bir boyutlu zar kuramını kuantumlama çabaları olmuştu. Üç Avrupalı fizikçi, Bernard de Wit, Jens Hoppe ve Hermann Nicolai bunu sağlayacak bir marifet bulmuşlardı: zarı iki boyutlu bir sayılar tablosuyla ya da matematikçilerin terimiyle bir *matris*le, ifade ederek. Yöntemleri, bu tablolardan dokuzunu kullanmalarını gerektiriyordu ve buradan zarların davranışlarını yaklaşık olarak veren bir kurama vardılar.[6]

De Wit ve meslektaşları matris kuramının kuantum halinin tutarlı olduğunu da göstermişlerdi. Bunun içinde ufak bir detay gizli: zarları ifade edebilmek için kullanılan matrisin sonsuz boyutlu olması gerekiyordu fakat kuramın kuantum hali ancak sonlu matrisler için anlamlı oluyordu. Böylece yine bir savda kalıyorduk: Eğer kuantum kuramını bahsi geçen matrisin sonsuz olduğu hale genişletebilirsek zarların bir kuantum kuramına varabilirdik.

1996'da dört Amerikalı sicim kuramcısı bu fikri tekrar canlandırmaya çalıştılar; ama bir farkla. Thomas Banks, Willy Fischler, Stephen Shenker ve Leonard Susskind on bir boyutlu düz bir uzayzaman üzerine kurulan matris kuramından sadece zar kuramının değil aynı zamanda M-kuramının bir bütün olarak çıkarıldığını önerdiler.[7] Bu matris yaklaşımı M-kuramının gerçekte ne olduğuna dair bir açıklama getirmiyor çünkü belirli

---

[6] B. de Wit, J. Hoppe and H. Nicolai, "On the Quantum Mechanics of Supermembranes," *Nucl. Phys. B.*, 305(4), s. 545-81 (1988).

[7] T. Banks, W. Fischler, S. Shenker and L. Susskind, "M-Theory as a Matrix Model: A Conjecture," *Phys. Rev. D.*, 55(8), s. 5112-28 (1997).

bir ardalan üzerine kurulu. Bu kuram bazı başka uzayzamanlar üzerinde de kurulabiliyor ama dörtten fazla boyutun kıvrıldığı hallerde anlamlı sonuçlar vermiyor. Eğer M-kuramı doğruysa dünyamızda yedi adet kıvrılmış boyut olmalı, bu da bahsettiğimiz yaklaşım için parlak bir durum sayılmaz. Dahası matrisin sonsuz olduğu hallerde anlamlı bir kuantum kuramına yol açıp açmayacağını hâlâ bilmiyoruz.

Ne yazık ki, M-kuramı hayal kırıklığı yaratan bir öneri olarak kalmaya devam ediyor. Ona inanmak çekicidir, ama aynı zamanda, tam bir ifadesinin yokluğunda gerçek bir kuram olamaz: Sadece inanmak istenen bir kuram hakkında bir savdır..

Sicim kuramıyla olan ilişkimizi değerlendirince aklıma bir arkadaşımı temsil eden bir sanat simsarı geliyor. Bir keresinde buluştuğumuzda kitabını çok sevdiğim birini tanıyor olduğunu söylemişti, o yazara "M." diyelim. Birkaç hafta sonra beni aradı ve "Geçen gün M. ile konuşuyordum ve biliyor musun, bilimle çok ilgileniyor" dedi ve ekledi "sizi tanıştırmamı ister misin?" Gururum çok okşanmıştı ve heyecanlanmıştım; gerisi gelecek bu davetlerden ilkini kabul ettim. Çok mükellef bir yemeğin ortasında telefonu çaldı. "Arayan M." dedi "Yakınlardaymış. Uğrayıp tanışmak istiyor. Olur mu?" Ama hiç gelmedi. Tatlılarımızı yerken simsarla sanat ve bilim üzerine uzunca konuştuk. Bir süre sonra utancım M. ile tanışma hevesime galip geldi ve ona teşekkür edip evime gittim.

Birkaç hafta sonra beni arayıp uzun uzun özür diledi ve beni onunla tanıştırmak amacıyla tekrar yemeğe davet etti. Tabii gittim. Hep en iyi restoranlarda yiyordu; anlaşılan sanat simsarlarının akademisyen bilimcilerin maaşından fazla harcaması var. Aynı sahne bir sürü yemek boyunca devam etti. M. arıyordu sonra bir hatta iki saat sonra arkadaşımın telefonu tekrar çalıyordu: "A, tamam! İyi hissetmiyorsun demek" ya da "Taksi şoförü Odeon'un nerede olduğunu bilmiyor muymuş? Seni Brooklyn'e mi götürdü? Bu şehir iyice kötüye gitmeye başladı. Tabii, mutlaka başka sefer..." Bu iki yıl böyle devam ettikten sonra kitabın kapağındaki kadın resminin sahte olduğunu anladım. Bir gece

ona "Artık anladım" dedim, M. oydu. Güldü ve "Eee, evet... ama seninle tanışmayı çok isterdi" dedi.

Sicim kuramının öyküsü benim M. ile tanışmamın sonsuza uzatmalı öyküsü gibi. Gerçek olmadığını bile bile üzerinde çalışırsınız çünkü bundan daha iyisini bilmiyorsunuzdur. Bu arada grup eğlenceli ve yemek de harikadır. Arada sırada, öykünün esasının ortaya çıkacağını duyarsınız ama nasılsa bu hiç gerçekleşmez. Bir süre sonra kendiniz aramaya başlarsınız. Bu kendinizi bir zaman iyi hissettirir ama yine bir sonuç alamazsınız. Sonunda elinizde en baştakinden fazlası yoktur: içini açamadığınız bir kitabın kapağındaki bir resim.

10. HERHANGİ BİR ŞEYİN KURAMI

Bahsettiğimiz iki sicim devriminde deneysel gözlemler hemen hiç rol almadı. Sicim kuramlarının sayısı artmasına rağmen sicim kuramcılarının çoğu, bu yönde hiçbir gösterge olmamasına rağmen, açık deneysel öngörülerde bulunacak tek bir kuram imgelemine inanmaya devam ettiler. Bazı kuramcılarsa en başından beri böyle bir kuramın belki de hiç elde edilemeyeceği üzerine kaygı duymaya devam ettiler. Bu arada iyimseler kurama güven duymaya devam etmekte ısrarcı olmak ve bizi nereye götürüyorsa götürsün izlemekten yanaydılar: Sicim kuramı birleşik bir kuramdan beklenen şeylerin çoğunu gerçekleştiriyor gibi duruyordu ve hikâyenin bütünü zamanla kesinlikle ortaya çıkacaktı.

Yine de geçen yıllar boyunca sicim kuramcılarının düşünce biçimi gerisin geriye dönmeye başladı. Tek bir kuramın varlığına duyulan inanç zayıfladı ve sicim kuramının birçok kuramı barındıran bir manzara olarak anlaşılması gerektiğine inanılmaya başlandı. Bu kuramlardan her biri çoklu bir evrenin değişik yörelerini betimleyecekti.

Beklentilerdeki bu sapmaya ne yol açtı? Paradoks gibi gözükebilir ama bu deneysel verilerle yüzleşmenin bir sonucuydu. Fakat bunlar ümit ettiğimiz sonuçları içermeyen ve birçoğumuzun hiç beklemediği tür verilerdi.

İyi bir kuram bizi şaşırtmalıdır; onu bulanın işini iyi yaptığının bir göstergesidir bu. Ama *deneysel* bir gözlem bizi şaşırttığı zaman kuramcılar endişe duyarlar. Son otuz yıl içinde hiçbir gözlem 1998'de keşfedilen kara enerji kadar keyfimizi bozmamıştı. Kara enerji derken bilinen tüm enerji ve madde türlerinden farklı, hiçbir parçacık ya da dalgayla ilintili olmayan bir enerji türü demek istiyoruz. Öylece vardır.

Kara enerjinin ne olduğunu bilmiyoruz; varlığının farkındayız çünkü evrenin genişlemesine etki yapıyor ve bu etkiyi göz-

leyebiliyoruz. Kendini evrenin her yerine tekdüze bir şekilde yayılmış bir kütleçekim kaynağı olarak gösteriyor. Tekdüze bir şekilde yayılmış olduğundan hiçbir şey ona doğru düşmüyor çünkü her yerde aynı miktarda var. Sadece galaksilerin birbirlerinden ne hızla uzaklaştığına etki yapıyor. 1998 yılında uzak galaksilerde oluşan süpernovalar üzerine yapılan deneylerde evrenin genişlemesinin ivmelendiği anlaşıldı, bunu açıklamanın en iyi yoluysa kara enerjiydi.[1]

Kara enerji adaylarından birisi *kozmolojik sabit* denilen bir büyüklüktür. Bu enerji kaynağının önemli bir özelliği vardır: Enerji yoğunluğu evrende nerede olduklarından ve ne hızla gittiklerinden bağımsız olarak bütün gözlemciler için aynıdır. Bu oldukça alışılmadık bir durum. Normalde, enerji maddeyle bağlantılandırılır ve bu maddeyle beraber hareket eden özel bir gözlemci düşünülebilir. Kozmolojik sabit farklıdır. *Sabit* diyoruz çünkü evrenin neresinde, ne zaman ve ne tür hareket eden bir gözlemci tarafından ölçülürse ölçülsün hep aynı değere sahiptir. Parçacıklarla, dalgalarla ya da uzayda hareket eden hiçbir şeyle ilişkilendirilemediğinden, aynı zamanda *kozmolojiktir;* yani evrenin içindeki herhangi bir şeyin değil evrenin bütününün bir özelliğidir. (Kara enerjinin kozmolojik sabitle açıklanıp açıklanamayacağını henüz bilmediğimizi söylemem gerekir; elimizdeki bütün kanıtlar bu yöne işaret ediyor ama ilerleyen yıllarda kara enerji yoğunluğunun uzay ve zamanda değişim gösterip göstermediğini çok daha iyi biliyor olacağız.)

Sicim kuramı kara enerjiyi öngörmemiştir; dahası gözlenen değeri açıklamak kuram için oldukça zordur. Bu durum sicim kuramında bir krize yol açtı. Bu krizin nedenlerini daha iyi anlamak için kozmolojik sabitin garip, karanlık geçmişine bakmamız gerekiyor.

Öykümüz yaklaşık olarak 1916 yılında başlıyor. Einstein yeni keşfetmiş olduğu genel görelilik kuramının en dramatik öngörüsüne inanmayı reddetmişti. Uzayzaman geometrisinin dina-

---

[1] Süpernova gözlemleri Lawrence Berkeley Laboratuvarından Saul Perlmutter ve iş arkadaşları ve Yüksek Z Süpernova Arama Takımından Robert Kirchner ve iş arkadaşları tarafından yapıldı.

mik olması genel göreliliğin merkezi bir kavramıydı ve Einstein bunun farkındaydı. Bunu göz önüne alırsak, insanların kuramını evren modelleri kurmak için kullandıklarında vardıkları sonuçlara aslında şaşırmamış olması gerekirdi: Evren de zaman içinde değişken bir yapı gösteriyordu. Çalışmalar sonucu bulunan çözümlerde evrenler genişleyip büzülebiliyor ve hatta bunlardan bazıları için bir başlangıç ve bir sondan dahi bahsedilebiliyorduk.

Ama Einstein bu sonuçlar karşısında şaşkınlığa *düşmüştü* ve ürkmüştü. Aristoteles'ten o zamana kadar evrenin hep değişmez olduğu düşünülmüştü. Belki de Tanrı tarafından yaratılmıştı, ama öyle olsa bile o zamandan beri hiç değişmemişti. Einstein geçtiğimiz iki yüzyıl boyunca yaşamış en yaratıcı ve başarılı kuramsal fizikçi olmasına rağmen evrenin ebedi ve sabit olmadığı bir görüşü kabul edemiyordu. Düşünebiliriz ki Einstein gerçek bir dâhi olsaydı ve kendi ön yargılarını bir kenara bırakıp kuramına daha fazla inanç duysaydı evrenin genişlediğini öngörebilirdi. Ama bu durumdan çıkarabileceğimiz daha olumlu ders en maceracı düşünürlerin bile binlerce yıl boyunca süregelmiş inançları terk etmekte ne kadar zorlandıkları olmalı.

Şu anda bu kavrama alışmış olan bizler o zamanlar evrenin bir başlangıcı olabileceği fikrini kabul etmenin zorluğu hakkında ancak varsayımlarda bulunabiliriz. O sıralar evrenin zamanla evrildiği üzerine hiçbir deneysel kanıt bulunmuyordu, Einstein'da bu durumu kuramının bir zayıflığı olarak algılayıp önüne geçmek için gerekli önlemleri aldı.

Denklemlerini genişletmenin bir yolu olduğunu gördü: boş uzay sıfır olmayan bir enerji yoğunluğuna sahip olabilirdi. Dahası, bu enerji yoğunluğu hareketine ve evrendeki yerine bağımlı olmaksızın bütün gözlemciler için aynı olmak zorundaydı. Bu yüzden bu sabite kozmolojik sabit dedi. Sabitin işaretinin sonucu değiştirdiğini buldu. Bu sayı pozitif olduğunda evrenin genişlemesine sebep oluyordu ve bu genişleme hızlanarak gerçekleşiyordu. Bu bilinen maddeden biraz daha farklıdır. Bilinen madde birbirini çekerek evrenin büzülmesine sebep olur. Eins-

tein bu iki olguyu kullanarak, yani birinin genleştirme etkisini diğerinin büzültme etkisiyle dengeleyerek, durağan ve ebedi bir evren modeli kurmayı başardı.

Einstein sonraları, kozmolojik sabiti en büyük bilimsel gafı olarak andı. Aslında işin içinde iki gaf vardı. İlk olarak gerçekte evrenin büzülmesini engellemekte etkisiz kalıyordu. Maddenin çekici etkisini kozmolojik sabit aracılığıyla dengelemek mümkündür, ama sadece anlık olarak. Bu denge içten içe kararsız bir dengedir. Evreni azıcık değiştirin, büzülmeye ya da genleşmeye başlar. Yine de asıl gaf genleşen evren fikrinin yanlış olduğu kanaatindedir. On yıl sonra, astronom Edwin Hubble evrenin genleştiği yönünde deneysel kanıtlar elde etti. 1920'lerden bu yana kozmolojik sabit kurtulunması gereken bir tür kambur gibi utanılacak bir şey olarak algılandı ama zaman geçtikçe bunu sağlamak, en azından kuramsal çerçevede, oldukça zorlaşmaya başladı. Sadece sıfır olduğunu söyleyip geçiştiremezdik. Köşedeki bir fil gibi, görmezden gelsek dahi oradaydı.

İnsanlar çok geçmeden, kuantum kuramının kozmolojik sabit hakkında bir şeyler içerdiğini fark ettiler. Ne yazık ki bu, duymak istediğimizin tam tersi yönde bir şeydi. Kuantum kuramına göre –net olarak belirsizlik ilkesine göre– kozmolojik sabitin değeri çok büyük olmalıdır. Eğer bir nesne olduğu yerde duruyorsa belirsizlik ilkesine aykırı davranıyor demektir: Çünkü bu durumda yeri ve gidimi tamamen belli olmalıdır ve belirsizlik ilkesine göre bu ikisini beraber kesin olarak bilemeyiz. Belirsizlik ilkesinin sonuçlarına göre sıcaklık sıfır dahi olsa hareketsiz bir şeyden bahsedemeyiz. Her bir parçacık için ya da her özgürlük derecesi için sıfırlanamayan bir enerji vardır, sıfır sıcaklıkta bile. Buna *boşluk* ya da *zemin seviyesi enerjisi* denir. Kuantum kuramı, elektromanyetik alan gibi alanlara uygulandığında bütün titreşim şekilleri için böyle bir boşluk enerjisi vardır. Bir alan son derece fazla şekilde titreşir ve bu da son derece büyük bir boşluk enerjisi demektir. Einstein'ın genel görelliliği çerçevesinde bu son derece büyük bir kozmolojik sabite yol açar. Bunun yanlış olması gerektiğini biliyoruz, çünkü eğer doğru olsaydı evren hiçbir yapının oluşmasına imkân vermeye-

cek hızda genişlemiş olmalıydı: Sadece galaksilerin varlığı bile kozmolojik sabitin değeri üzerine güçlü kısıtlar koymamıza olanak sağlar. Bu kısıtlara göre kozmolojik sabit kuramsal olarak öngörülen değerden yaklaşık olarak 10^{120} kat daha küçük olmalıdır. Bunun bilimsel bir kuramın yol açtığı en berbat öngörü olduğunu kolaylıkla söyleyebiliriz.

Bir şeyler bayağı yanlış olmalı. Mantıklı biri, temeller üzerine yepyeni bir fikrin gerektiğini ve bu uyumsuzluk giderilmeden kuantum kuramını kütleçekimle birleştirme çabalarında hiçbir ilerleme sağlanamayacağını düşünebilir. En makul insanlardan birçoğu gerçekten de böyle düşünüyor. Olaf Dreyer, bu insanlardan biri, kuantum kuramıyla kütleçekim arasındaki uyuşmazlığın ancak uzayın temel olduğu fikrinin terk edilmesiyle aşılabileceğini söylüyor. Uzayın daha temel olan, farklı bir çerçeve içerisinde belireceğini öne sürüyor. Bu görüş örneğin Nobel Ödülü sahibi Robert Laughlin ve Rus fizikçi Grigori Volovik gibi katı hal fiziği alanında çok önemli çalışmalar yapmış olan insanlar tarafından da savunulmaktadır. Ama temel fizik üzerine çalışan çoğumuz bu soruyu tamamen göz ardı edip, nihayetinde buna çözüm getirmeseler bile başka yaklaşımlar üzerinde araştırmalara devam ediyoruz.

Yakın geçmişe kadar hiç olmazsa durumu kurtarmanın bir yolu vardı: İvmelenen bir genleşme üzerine kanıtlar yoktu ve bu da kozmolojik sabitin sıfır olması demekti. Bu biraz rahatlatıcı bir durumdu çünkü kozmolojik sabiti sıfır olarak kabul etmemize yardım edecek bir ilke keşfedileceğini ümit edebilirdik. Gözlenen değerin küçük bir sayı olması çok daha kötü olacaktı çünkü bir büyüklüğü tam olarak sıfır değil de sadece çok küçük bir sayı olarak belirleyecek bir ilke hayal etmek çok daha zordu. On yıllar boyunca tanrılara en azından bu sorundan kurtulmuş olduğunuz için şükrettik.

Kozmolojik sabit fiziğin bütünü için bir sorun oluşturuyordu, yine de sicim kuramı için işler biraz daha iyi gibiydi. Sicim kuramı kozmolojik sabitin neden sıfır olduğunu açıklayamıyordu ama hiç olmazsa değerinin neden pozitif olmaması gerektiği hakkında bir açıklama getiriyordu. O sıralarda bilinen sicim

kuramları hakkında söyleyebileceğimiz az şeyden birisi kozmolojik sabitin ya sıfır ya da negatif olması gerektiğini öngörmeleridir. Kozmolojik sabitin pozitif olamayacağını öngörmüş belirli bir sicim kuramcısı hatırlamıyorum, ama genel kanı bunun kuramın bir özelliği olduğuydu. Bu öngörünün teknik ayrıntılarına burada giremeyeceğiz.

Aslında hep negatif kozmolojik sabit içeren sicim kuramları üzerine çalışmalar yapılıyordu. Örneğin ünlü Maldacena varsayımı negatif kozmolojik sabite sahip bir uzayzaman içeriyordu. Birtakım zorluklar vardı ve bugüne kadar kimse negatif kozmolojik sabite sahip bir dünyada sicim kuramını ayrıntılarıyla kağıda dökmedi. Bu eksikliğin sadece teknik bir sorun olduğuna inanılır; özünde bunun mümkün olduğu düşünülür.

Artık, 1998 yılında süpernova deneyleri sonucunda evrenin hızlanarak genişlediği keşfedildiğinde ve bunun sonucunda kozmolojik sabitin değerinin pozitif olduğu anlaşıldığında, içine düşülen şaşkınlığı daha iyi tahmin edebilirsiniz. Bu gerçek bir krizdi, çünkü sicim kuramının bir öngörüsüyle deneysel sonuçlar arasında uyumsuzluk ortaya çıkmıştı. Hatta pozitif kozmolojik sabite sahip evrenlerin –en azından kuantum etkileri göz ardı edildiğinde– sicim kuramının çözümleri olamayacağı üzerine teoremler bile vardı.

Edward Witten kolayca karamsarlığa kapılan biri değildir ama 2001 yılına açıkça şöyle söylemişti: "Sicim kuramı ya da M-kuramından bir de Sitter uzayı –pozitif kozmolojik sabite sahip bir uzay– elde etmenin açık ve net bir yolunu bilmiyorum."[2]

Bilim kuramcıları ve felsefecileri deneylerle olacak tek bir çatışmanın bir kuramın sonunu sadece ender olarak getirebileceğini iddia etmişlerdi. Bunlar arasında Imre Lakatos, Paul Feyerabend ve Thomas Kuhn'u anabiliriz. Bir kuram yeteri kadar geniş bir uzman kitlesi tarafından derin bir şekilde benim-

[2] E. Witten, "Quantum Gravity in de Sitter Space," hep-th/0106109. Witten devam ediyor, "Bu son önerme klasik olmazlık teoremini hatırlarsak pek de şaşırtıcı değil. Çünkü modülleri kararlı hale getirmenin bildik sorunlarını göz önüne alınca, eğer klasik seviyede de Sitter uzayı elde edilemiyorsa bunu kuantum seviyesinde güvenli bir şekilde yapmak zor."

senmişse onu kurtarmak için oldukça uç yöntemlere başvurulabilir. Bunun bilim için kötü olduğunu söyleyemeyiz, hatta yeri geldiğinde oldukça faydalıdır. Bazen kuramı savunanlar galip gelir ve bunun sonucunda da büyük ve beklenmedik keşiflerde bulunabiliriz. Fakat bazen kaybederler ve bu durumda kuramcılar kendilerini aynı deliğe git gide daha derin gömerken oldukça fazla zaman ve çaba boşa harcanmış olur. Lakatos ve Feyerabend, sicim kuramının son birkaç yıllık hikâyesini iyi anlayabilirdi; çünkü bu tam da deneysel verilerle çelişen bir kuramı kurtarmak için canla başla çalışan çok sayıda uzmanın öyküsüdür.

Sicim kuramını kurtaran –eğer gerçekten kurtarılmış durumdaysa– bambaşka bir sorunun çözümüne bağlı oldu: Ek boyutlar nasıl kararlı hale getirilebilir? Yüksek boyutlu kuramlarda ek boyutları birçok değişik şekilde eğmenin mümkün olduğunu görmüştük. Bildiğimiz dünyayı içerecek çözümler son derece özeldir çünkü ek boyutların geometrisi bir şekilde dondurulmuş olmalıdır. Bunu sağlayamazsak ek boyutlar evrilmeye başlayabilir ve eski hallerine geri dönmek yerine aynı yönde devinmeye devam edip ya gitgide küçülüp bir tekilliğe yol açabilir ya da büyümeye devam ederek görünen boyutların hacmine sahip olabilirler.

Sicim kuramcıları buna *modüllerin kararlılığı problemi* derler. Burada modül kelimesi ek boyutların özelliklerini belirleyen sabitler için genel bir terimdir. Modüllerin kararlılığı sicim kuramının çözmesi gereken bir sorundu ama uzun zaman boyunca buna nasıl erişileceği bilinmiyordu. Diğer sorunlarda olduğu gibi karamsarlar üzüntüye düştüler ve iyimserlerse er ya da geç çözümü bulacağımıza inandılar.

Bu konu üzerinde iyimserler haklı çıktı. İlerleme, 1990'ların başında Californialı birçok kuramcının ek boyutları kararlı hale getirmenin yolunun zarları kullanmaktan geçtiğini anlamasıyla başlamış oldu. Bunun nasıl gerçekleştiğini irdelememiz için sorunun önemli bir yüzünü iyi anlamamız gerekiyor: Ek boyutların geometrisi sürekli değişmesine rağmen sicim kuramı için iyi bir ardalan oluşturabilir. Başka bir deyişle fazladan boyutların hacmini ve cismini değiştirince sicim kuramının

değişik şekillerini içeren bir uzayda hareket edersiniz. Bu da hiçbir şeyin fazladan boyutların geometrisini evrilmekten alıkoyamayacağı anlamına gelir. Bu tür bir değişimi engellemek için elemanların birinden diğer birine sürekli bir şekilde geçmenin imkânsız olduğu bir sicim kuramları kümesi bulmamız gerekir. Bunu yapmanın bir yolu aralarında ancak sıçramalar şeklinde yani sürekli olmayan geçişlerin mümkün olacağı sicim kuramları bulmaktır.

Joseph Polchinski bize sicim kuramında gerçekten de süreksiz nesneler olduğunu gösterdi: Bunlar zarlardır. Sicim kuramıyla uyumlu bazı ardalan geometrilerinde zarların ek boyutlara sarılmış olduğunu hatırlayalım. Zarlar süreksiz nesnelerdir. Elinizde 1, 2, 17 ya da 2.040.197 adet zar olabilir ama 1003 adet zardan bahsedemezsiniz. Zarlar elektrik ve manyetik yükler taşıdığından süreksiz yapıda elektrik ve manyetik akılara yol açarlar.

Böylelikle 1990'ların sonunda, Polchinski ve yaratıcı bir doktora sonrası araştırmacısı olan Raphael Bousso çok sayıda elektrik ve manyetik akının fazladan boyutların etrafına sarıldığı bazı sicim kuramlarını çalışmaya başladılar. Bazı parametrelerin sadece sıçramalar halinde değişebileceği bazı kuramlar bulmayı başardılar.

Ama bütün sabitleri bu şekilde dondurabilir miydik? Bunu sağlamak için çok daha karmaşık bir yapı gerekiyordu ama çözümün fazladan bir getirisi de vardı. *Pozitif kozmolojik sabite sahip bir sicim kuramına yol açıyordu.*

Önemli sıçrama Stanford'dan bir grup bilimcinin çabasıyla 2003 yılının başında gerçekleştirildi; süper-kütleçekim ve sicim kuramının öncülerinden Renata Kallosh, hızlı şişme kuramını bulanlardan biri olan Andrei Linde ve en iyi genç sicim kuramcılarından ikisi, Shamit Kachru ve Sandip Triverdi tarafından.[3] Çalışmaları sicim kuramı standartları göz önüne alındığında bile oldukça karmaşıktı; Stanford'dan meslektaşları Leonard

---

[3] S. Kachru, R. Kallosh, A. Linde ve S. Trivedi, "De Sitter Vacua in String Theory," hep-th/0301240.

Susskind bunu belirtmek için onların çalışmasını bir "Rube Goldberg makinesi"* olarak tanımlamıştır. Yine de bu çalışmanın etkisi büyük oldu çünkü hem fazladan boyutların kararlılığını sağlıyor hem de kara enerji gözlemleriyle uyumlu bir sicim kuramına yol açıyordu.

Stanford grubunun ne yaptığının basit bir hali şu: Dört boyutlu düz bir uzayın üstündeki her noktaya kıvrılmış altı boyutlu bir uzay yerleştirdiler. Fazladan boyutların geometrisini Calabi-Yau uzayları (8. Bölüm) içinden seçtiler. Belirtmiş olduğumuz gibi bu uzaylardan en azında yüz bin adet var ve tek yapmanız gereken içlerinden birçok parametreyle tanımlanan birini seçmek.

Bunun ardından her noktadaki altı boyutlu uzayın etrafına büyük sayıda elektrik ve manyetik akı içeren zarlar sardılar. Sadece tam sayıda zar kullanılabildiğinden kararsızlıklarda bir donma eğilimi oluşur. Geometriyi tam olarak kararlı hale getirmek içinse tam olarak sicim kuramından çıktığı söylenemeyecek bazı kuantum etkilerini göz önüne almak gerekir. Yine de bu etkiler süpersimetrik ayar kuramlarında bir şekilde anlaşılmış olduklarından burada da rol almaları mümkündür. Bu kuantum etkilerini akıların etkileriyle birleştirdiğimizde bütün modüllerin sabit olduğu bir geometri elde ederiz.

Bütün bunlar dört boyutlu uzayda negatif bir kozmolojik sabit elde edecek şekilde de ayarlanabilir. Ne kadar küçük bir kozmolojik sabit istersek ek boyutlara o kadar fazla akı sarmamız gerekir küçük ama negatif bir kozmolojik sabit içinse devasa sayılarda akı gerekir. (Belirtmiş olduğumuz gibi sicim kuramını böyle bir ardalan üzerinde kurmanın yolu bütün ayrıntılarıyla biliniyor sayılmaz ama bunun imkânsız olacağını düşünmek için de bir sebep yoktur.) Ama kuramı deneylerle uyuşur hale getirmek için asıl amaç *pozitif* bir kozmolojik sabit elde etmektir. Böylece ikinci adımda yapılması gereken geometrinin etrafına ters etki yapacak, kozmolojik sabiti artıracak zarlar sarmak-

* Basit bir şeyi karmaşık şekilde yapan düzenekler için kullanılan deyim. Türkçeye "Zihni Sinir Makinesi" olarak çevrilebilir –yn.

tır. Karşı-parçacıklar gibi karşı-zarlardan da bahsedebiliriz ve Stanford grubu bunları tam da bahsettiğimiz amaca erişmek için kullandılar. Karşı-zarlar sararak enerji ekleyebilir ve böylelikle kozmolojik sabiti pozitif ama yine de küçük olacak şekilde artırabiliriz. Bütün bunlara ek olarak sicim kuramlarının birbirine evrilmesi de engellenmiştir çünkü bu yeni tür ardalanlar arasında dolanmak sıçramalar gerektirir. Böylelikle iki problem aynı anda çözülmüş olur: Kararsızlıklar engellenmiş ve pozitif ama küçük bir kozmolojik sabit elde edilmiştir.

En azından bir süre için Stanford grubunun sicim kuramını kozmolojik sabit krizinden kurtardığı söylenebilirdi ancak önerilerinin o kadar garip ve hesapta olmayan sonuçları oldu ki sicim camiasını hiziplere ayırdı. Bundan önce camia takdire değer bir birliktelik içindeydi. 1990'larda bir sicim kuramı konferansına katılmak 1980'li yılların başında Çin'e seyahat etmek gibiydi: Konuştuğunuz hemen hemen herkes aynı fikirleri ateşli bir şekilde savunuyordu. Sonuçları iyi ya da kötü olabilir ama Stanford grubu bu birlikteliği yok etti.

Bahsettiğimiz sicim kuramının tıkız geometriler etrafına akılar sarmakla elde edildiğini hatırlayalım. Küçük bir kozmolojik sabit elde etmek için çok sayıda akı sarmanız gerekir, fakat bir akıyı sarmanın birden fazla yolu vardır; aslında birçok yolu vardır. Ne kadar?

Bu soruya cevap vermeden önce, gizli boyutların etrafına akılar sararak elde edilen sicim kuramlarının *herhangi birinin bile* tutarlı bir kuantum sicim kuramı olup olmadığını bilmediğimizi belirtmek isterim. Elimizdeki yöntemlerle bu soruya cevap vermek oldukça zor. Bu yüzden kuramları bazı sınamalardan geçirir ve bunların sonucunda iyi bir sicim kuramının varlığı için *gerekli ama yeterli olmayan* kısıtlar buluruz. Bu kısıtlara göre sicim teorileri ancak zayıf bir şekilde etkileşen sicimlere sahip olmalıdır. Buna göre eğer sicim teorilerinde hesap yapabilseydik, bu hesapların sonuçları yaklaşıklık çerçeveleriyle yapılanlara oldukça yakın olacaklardı.

Gerçekten cevap *verebileceğimiz* sorulardan birisiyse, gizli altı boyut etrafına sarılmış akılar içeren sicim kuramlarından

kaçının bu sınamadan geçeceğidir. Bu cevap elde etmek istediğimiz kozmolojik sabitin değerine bağlıdır. Eğer negatif ya da sıfır bir kozmolojik sabit elde etmek istiyorsak, o zaman *sonsuz adet farklı kuram* vardır. Eğer kuramın deneylerle uyuşacak şekilde pozitif bir kozmolojik sabit vermesini istiyorsak, sonlu sayıda kuram olduğunu buluruz; şu anda elimizde bu sayının 10^{500} olduğuna dair kanıtlar vardır.

Açıkça bu sayı oldukça yüksektir. Dahası, bu kuramlardan her biri ayrıktır. Her biri, temel parçacıklar fiziği ve standart modelin sabitleri için değişik öngörülerde bulunur.

1980'lerin sonu ve 1990'ların başında, sicim kuramının, tek bir kuram yerine birçok kuramdan oluşan bir manzarayı ifade ettiği önerilmişti ama birçok kuramcı bunu kabul etmeye yanaşmamıştı. Belirtmiş olduğumuz gibi, 1986 yılında Andrew Strominger tutarlı gözüken çok büyük sayıda sicim kuramı olduğunu göstermişti ve bazı kuramcılar bundan kaynaklanacak öngörü kaybı üzerine endişelerini dile getirirken çoğunluk bir şekilde ortaya çıkacak yeni bir keşfin tek ve doğru kuramı seçmemize yardım edeceğine inanıyordu. Ama Bousso ve Polchinski ile Stanford grubunun çalışmaları bu dengeye bir son verdi. Bu çalışmalar, tıpkı Strominger'in çalışmasında olduğu gibi, büyük sayıda sicim kuramından söz ediyordu fakat bu sefer bu sayının büyüklüğü sicim kuramının iki büyük problemini –pozitif kozmolojik sabit ve modüllerin kararlılığı– çözmek için kullanılıyordu. Belki de bu sebepler yüzünden, geniş kuram manzarası göz ardı edilmesi gereken bir ucube olmak yerine artık sicim kuramını yanlışlanmaktan kurtaracak bir yol olarak görülmeye başlanmıştı.

Kuramlar manzarası fikrinin tutmasındaki başka bir sebepse kuramcıların cesaretinin açıkça kırılmış olmasıydı. Tek bir kuramın seçilmesi için faydalı olacak bir ilkeyi bulmak için uzun zaman harcamışlardı ama böyle bir keşif gerçekleşmedi. İkince devrimden sonra sicim kuramını daha iyi anlamaya başlamıştık. Özellikle ikiliklerin varlığı birçok kuramın kararsız olacağı savına karşı duruyordu. Böylece sicim kuramcıları olası kuramlardan oluşan geniş manzara fikrini kabul etmeye

başladılar. Artık temel çıkış noktası nasıl tek bir kuram oluşturulabileceği değil, büyük sayıda kuramın varlığında nasıl fizik yapılacağını anlamaktı.

Verilebilecek bir yanıt bunun imkânsız olduğudur. Kendimizi sadece deneylerle uyumlu olacak kuramlara kısıtlasak bile bunlardan o kadar çok vardır ki istediğimiz her sonucu elde edebiliriz. Bunu neden bir *reductio ad absurdum** olarak algılamıyoruz ki? Eğer tek bir kuram oluşturmak için kullanılan bir yaklaşım 10^{500} kurama yol açıyorsa o yaklaşım saçmalığa indirgenmiştir.

Bu, konu üzerine çalışarak meslek hayatlarının yıllarını, hatta on yıllarını verenler için oldukça acı verici bir durum. Benim için de üzücü çünkü zamanımın bir kısmını bu çabaya sarf etmiştim; bütün mesleki kariyerlerini sicim kuramına dayandırmış arkadaşlarımın neler hissettiğini ancak hayal edebilirim. Yine de ne kadar üzücü olursa olsun, durumun *reductio ad absurdum* içerdiğini kabul etmek mantıklı ve dürüst bir davranış gibi görünüyor. Ancak tanıdığım pek az insan bu yolu seçtiler, sicim kuramcılarının çoğu bu düşüncede değil.

Diğer bir mantıklı yaklaşımsa çok fazla sicim kuramı olduğu iddiasını reddetmektir. Pozitif kozmolojik sabit verdiği öne sürülen kuramlara varmak için ciddi yaklaşıklık kabulleri yapılmıştır; belki de bu kabuller fizikçilerin, fiziksel anlamı bir yana, matematiksel varlığı bile şüphe uyandıracak kuramlara inanmaya yönlendirir.

Aslında, pozitif kozmolojik sabite sahip sicim kuramlarının sayısının yüksek olması üzerine bilinen kanıtlar oldukça dolaylıdır. Bu tür ardalanlarda sicim kuramını nasıl tanımlayacağımızı bilmiyoruz. Dahası, sicim kuramının bu tür ardalanlarda var olabilmesi için gerekli şartlar öne sürebilsek de bu şartların aynı zamanda *yeterli* olup olmadığını bilmiyoruz. Kısacası, elimizde sicim kuramının bu tür ardalanlar üzerinde var olduğu üzerine bir ispat yok. Sonuç olarak mantıklı biri bu tür kuram-

* Olmayana ergi –yn.

ların var olmadığını düşünebilir. Yakın zamanlarda bu bağlamda yeni sonuçlar elde edildi: Calabi-Yau uzaylarını keşfedenlerden biri olan Gary Horowitz, iki genç meslektaşı Thomas Hertog ve Kengo Maeda ile birlikte bu kuramların belki de hiçbirinin kararlı olmayacağını sorguladılar.[4] Bu tür sonuçları ya ciddiye alırız ya da göz ardı ederiz, birçok sicim kuramcısı da böyle yapar. Horowitz ve meslektaşlarının bulduğu olası kararsızlıklar sadece Stanford grubunun bulduğu kuramlar manzarasını değil Calabi-Yau uzaylarını içerecek bütün sicim kuramları için geçerlidir. Eğer bu çözümler gerçekten de kararsızsa sicim kuramını gerçek dünyaya uygulama çalışmalarından çoğunun çöpe atılması gerekecektir. Şu sıralar Stanford grubunun kabullerinin geçerliliği üzerine tartışmalar devam ediyor.

Birinci süpersicim devriminin başında herhangi bir sicim kuramının var olması bile bir mucizeydi. Sonra onlardan beş adet olduğunu öğrendiğimizde daha da şaşırmıştık. İmkânsız gibi gelen bu durum amaca olan inancımızı sağlamlaştırmıştı. En başta işlemeyeceğini düşündüğümüz bir yaklaşım sonrasında verimli olursa ne iyi, hatta harika. Ama bugün sicim kuramcıları çok fazla sayıda kuram içeren bir manzara kavramını, yirmi yıl önce tek bir kuramın var olduğuna inanmak için gerek duyulandan çok daha az sayıda kanıtla kabul etmeye hazırlar.

Kırmızı çizgiyi şöyle diyerek çekebiliriz, "Bu kuramların var olduğuna ikna olmak istiyorum hem de yıllar önce ilk beşini değerlendirirken kullanılmış standartları esas alarak." Bu standartlar üzerinde ısrar edersek çok sayıda yeni kuramın varlığına inanmamamız gerekir çünkü kuramlar manzarası üzerine elimizde bulunan kanıtlar bu standartlar açısından bakıldığında çok azdır. Şahsen bu bakış açısına daha yakın olduğumu düşünüyorum, en azından çoğu zaman. Bence kanıtları değerlendirmenin en ussal yolu budur.

---

[4] Örnek olarak *bkz.* T. Hertog, G.T. Horowitz and K. Maeda, "Negative Energy Density in Calabi-Yau Compactifications," hep-th/0304199. JHEP, 0305:60(2003).

11. ANTROPİK ÇÖZÜM

Tanıdığım birçok fizikçi –ama hepsi değil– sicim kuramının doğanın temel bir kuramı olduğu üzerine beklentilerini gevşetmiş durumdalar. Son birkaç yıldır sorunun sicim kuramından ziyade herhangi bir fiziksel kuramın nasıl olması gerektiği konusundaki beklentilerimiz üzerinden tartışılması gerektiğini söylemek moda olmaya başladı. Bu yaklaşım birkaç yıl önce "Sicim Kuramının Antropik Manzarası" başlıklı bir makale yazmış olan Leonard Susskind tarafından öne sürülmüştü:

> Bazı yazarların yeni çalışmalarına göre kuram yelpazesinin inanılmaz şekilde geniş ve çeşitli olabileceği makul görünüyor. Beğensek de beğenmesek de bu, Antropik İlkeye inanılırlık sağlayan bir durum. Stanford grubunun bulduğu kuramlar yelpazesinin basit olduğunu söyleyemeyiz. Elle ayarlanmış, temel bir anlama sahip olmaları beklenemeyecek Rube Goldberg mekanizmalarına benziyorlar. Ama antropik bir kuramda basitlik ve zarafet birincil önemde değildir. En düşük enerji seviyelerinden birini seçmek ancak faydası üzerinden tartışılabilir; galaksi oluşumunun ve hayat için gerekli karmaşık bir kimyanın meydana gelebilmesi için gerekli özelliklere sahip olması yeterlidir. Bunun yanında ihtiyacımız olan tek şey, bu vakumun uzayın yeteri kadar geniş bir parçasında geçerli olmasını yüksek bir olasılıkla sağlayabilecek bir kozmolojidir.[1]

Susskind'in bahsettiği antropik ilke evrenbilimciler tarafından 1970'lerden başlayarak öne sürülmüş ve araştırılmış bir fikirdir: Fiziksel parametrelerin alabileceği değerlerin son derece büyük bir altkümesi için hayat imkânsızdır, yine de sanki evren bizim için ("antropik" terimi buna gönderme yapıyor) yaratılmışçasına, işte buradayız. Susskind, Andrei Linde'nin *ebedi*

---

[1] L. Susskind, "The Anthropic Landscape of String Theory,," hep-th/0302219.

Şişme olarak adlandırdığı kozmolojik bir modeldekine yakın bir antropik ilke öneriyor. Bu modele göre evren erken döneminde hızla genişlerken sonsuz sayıda evrene evrilir. Bunları geometrik olarak genişlemeye ara vermeyen bir evrende oluşan baloncuklara benzetebiliriz. Bu sonsuz sayıdaki baloncukların içinde genleşme oldukça yavaşlar ve bizler de böyle bir baloncukta yaşıyoruz. Susskind bu fikirlere şunu ekliyor: yeni bir baloncuk oluştuğunda son derece fazla sayıdaki sicim kuramlarından biri doğal bir süreç aracılığıyla seçiliyor ve bu baloncuk için geçerli fiziksel yasaları belirliyor. Bunun sonucunda da her birinin yasaları sicim kuramının yelpazesinden rastgele seçilen kuramlarla belirlenen son derece çeşitli bir evrenler kümesine varıyoruz. Çoklu-evren olarak da adlandırılan bir yapı sicim kuramının bütün şekillerini bünyesinde barındırıyor.

Susskind ve diğerlerinin antropik ilkeyi bu şekilde kucaklamasını bir şanssızlık olarak yorumluyorum çünkü bunun bilim yapmanın çok zayıf bir yolu olduğunu epeydir biliyoruz. Her bir kuram çoklu-evrenin en azından bir bölgesini belirliyor olacağından öngörü yeteneğimiz oldukça azalır. Bunun sebebini görmek de o kadar zor değil.

Rastgele yasalarla belirlenmiş son derece kalabalık bir evrenler kümesini kapsayan böyle bir kuram çerçevesinde öngörülerde bulunabilmek için önce kendi evrenimiz hakkında bildiğimiz her şeyin bir listesini çıkarmamız gerekir. Bunlar aynı zamanda bazı diğer evrenler için de geçerli olacaktır. Bu tür evrenlere *doğru olması muhtemel evrenler* diyebiliriz.

Bildiğimiz tek şey bizim evrenimizin bu muhtemel evrenlerden biri olduğudur. Temel yasaların kuramlar yelpazesinden rastgele seçildiğini göz önüne alırsak bilebileceğimiz daha başka pek az şey vardır. Bir öngörüde bulunmak ancak doğru olması muhtemel evrenlerin hepsinin ya da neredeyse hepsinin, ortak bir özelliği kendi evrenimiz hakkında şimdi bildiğimiz şeylerin listesinde yer almıyorsa mümkün olabilir.

Örneğin doğru olması muhtemel evrenlerin hemen hepsinde en keskin tınlamanın pes bir Do notası olduğunu kabul edelim. Bu durumda bu muhtemel evrenlerin içinden birini rastgele

seçtiğimizde büyük olasılıkla pes Do tınlayacağını söyleyebiliriz. Kendi evrenimiz hakkında muhtemel bir evren olması dışında bir şey söyleyemediğimize göre onun da yüksek olasılıkla pes Do sesi çıkardığını öngörebiliriz.

Esas sorun evrenlerin kuramlar arasından rastgele seçim yapabilmesinden kaynaklanıyor çünkü bu durumda yukarıda bahsettiğimiz özelliklerin sayısı pek azdır. En muhtemeli, evrenimizin gözlediğimiz özelliklerini bir kere belirlediğimizde geriye kalan özelliklerin doğru olması muhtemel evrenler arasında rastgele dağılmış olmasıdır ki bu durumda da öngörü yeteneğimiz kalmaz.

Antropik ilkenin şu ana kadar bahsettiğimiz şekline *zayıf antropik ilke* denir. Terimin kendisinden de anlayacağımız gibi evrenimiz hakkında bildiğimiz önemli bir şey içinde zeki canlıların mümkün olmasıdır. Buradan da doğru olması muhtemel bütün evrenlerin bu özelliğe sahip olması gerektiğini çıkarırız. Susskind ve diğerleri bu ilkenin hiç de yeni olmadığını öne sürüyorlar. Örneğin sıvı suyun varlığını mümkün kılan bir gezegen üzerinde olmamızı nasıl açıklayabiliriz? Eğer evrende sadece bir gezegen olduğuna düşünseydik bu durumu anlamakta zorlanırdık. Akıllı bir tasarımcının varlığının gerekli olduğuna inanmanın çekiciliğine kapılabilirdik. Ama bir sefer evrende son derece fazla sayıda yıldız ve gezegen olduğunu keşfettiğimizde birçok gezegenin hayat için gerekli şartlara sadece şans sonucu sahip olduğunu anlar ve bunlardan birinde yaşıyor olmamız karşısında şaşkınlığa düşmeyiz.

Her şeye rağmen bu gezegen örneği ile antropik ilkenin kozmolojiye uygulanması arasında büyük bir fark vardır; bizimki dışında bir evrenden haberdar değiliz. Diğer evrenler topluluğunun varlığı dolaysız gözlemler aracılığıyla doğrulayabileceğimiz bir varsayım değildir, bu yüzden de açıklayıcı bir unsur olarak kullanılamaz. Gerçekten de *eğer* yasaları rastgele olan evrenlerden oluşan bir küme varsa bunların içinde yaşama uygun evrenlerin de bulunması şaşırtıcı değildir. Ama böyle bir evrende yaşıyor olmamız bu tür bir küme içeren bir kuramın varlığı hakkında kanıt oluşturamaz.

Gezegen örneğimiz üzerinden tartışabileceğimiz karşı bir sav da var. Diğer gezegenleri gözlemenin imkânsız olduğunu düşünelim. Eğer buradan evrende tek bir gezegen olduğunu çıkarırsak, var olan bu tek gezegenin aynı zamanda hayatın oluşumu için elverişli olduğuna da inanmak zorunda kalırız: bu da ancak oldukça düşük bir olasılıkla gerçekleşmiş olabilir. Öte yandan onları hiçbir şekilde gözlemleyemesek bile rastgele özelliklere sahip birçok gezegen olduğunu kabul edersek, bazılarında yaşam bulunması olasılığı artar; neredeyse kesin olur. Buradan da tek bir gezegen yerine birçok gezegenin var olmasının daha muhtemel olduğunu varsayabiliriz.

Bu güçlü gözükmesine rağmen aslında yanlış bir çıkarımdır.[2] Bunu anlamak için aynı kanıtlar üzerinden yapılabilecek başka bir çıkarımı göz önüne alalım. Akıllı tasarıma inanan biri eğer tek bir gezegen ve üzerinde de hayat varsa akıllı bir tasarımcının varlığının çok muhtemel olduğunu söyleyebilir. İki kuram arasında –(1) var olan tek gezegen üzerinde hayat sadece şans eseri var ve (2) o biricik gezegeni ve üzerindeki hayatı yaratan akıllı bir tasarımcıdır– seçim yapmamız gerekirse mantığımız bize ikincisini önerir.

Gözlenemeyen birçok evren senaryosu akıllı tasarımcı modeliyle aynı mantıksal role sahiptir. İkisi de sınanamayacak bir varsayım öne sürerek daha önce çok muhtemel görünmeyen bir şeyi oldukça muhtemel bir hale getirirler.

Bu iki fikrinde yanlış olmasının bir sebebi ifade edilmemiş bir kabule dayanmalarıdır; olasılıkların tam bir listesine sahip olduğumuzun kabulü. Eğer gezegen benzetmesine dönersek, gezegenimizin hayata elverişli olmasının iyi bir açıklamasının gelecekte bulunabileceği olasılığını reddedemeyiz. Bahsi geçen iki usavurumdaki ortak yanlış muhtemel ama sınanamayan tek bir

---

[2] Çıkarımın yanlışlığını şöyle açıklayabiliriz. Bir O olgusu ve bunun iki açıklaması olduğunu kabul edelim. Açıklamalardan birincisine göre O'nun oluşma olasılığı az ama ikincisine göre fazla olsun. Buradan ikinci açıklamanın birinciden daha olası olduğunu çıkarmak çekici gözükebilir ama bu tür bir çıkarım mantığın ya da olasılık kuramının hiçbir ilkesine dayandırılamaz.

açıklamayı bir açıklamanın imkânsız olduğu önermesiyle karşılaştırmalarında yatıyor. Tabii ki, elimizde sadece bu iki seçenek var ise, herhangi bir açıklama açıklanamayan bir olanaksızlıktan daha akılcı duruyor.

Yüzyıllardır gözlenen birçok yıldız olduğundan birçok gezegenin varlığına inanmak için iyi sebeplerimiz var ve yakınlarda başka güneş sistemlerindeki gezegenleri dolaysız olarak gözlemleyebildik. Bu durumda kendi gezegenimizin hayata elverişliliğinin yüksek sayıda gezegenin varlığı üzerinden anlaşılabileceğine inanıyoruz. Ama evrenimizin hayata elverişliliği sorusuna geldiğimizde en az üç olasılık var:

1. Evrenimiz, rastgele yasaları olan çok geniş bir evrenler topluluğundaki tek bir evrendir.
2. Bir akıllı tasarımcı vardı.
3. Henüz bilmediğimiz bir mekanizma hem evrenimizin hayata elverişliliğini açıklayacak hem de yalanlanabilecek ya da doğrulanabilecek önermelerde bulunmamızı sağlayacak.

İlk iki şıkkın ilke olarak sınanamayacağını göz önüne aldığımızda üçüncüsünden yana durmak en akılcı davranış olacaktır. Aslında, bilimciler olarak geçerliliğini kabul edebileceğimiz tek şık üçüncüsüdür, çünkü diğer ikisinden birini kabul etmek işimizin sonu anlamına gelir.

Bazı fizikçiler zayıf antropik ilkeyi ciddiye almamız gerektiğini çünkü bunun geçmişte gayet önemli öngörülerde bulunduğunu hatırlatıyorlar. Burada en takdir ettiğim insanların bazılarından bahsediyorum; sadece Susskind'den değil ama Steven Weinberg'den, ki 4. Bölümde görmüş olduğumuz gibi Abdus Salam ile beraber elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerini birleştiren fizikçidir. İncelediğim her durumda iddiaların hatalı olduğunu söylemek beni üzüyor.

Örneğin 1950'li yıllarda Fred Hoyle tarafından yapılan araştırmalara dayandırılan, karbon çekirdeği argümanına bakalım. Bu argümana göre antropik ilkeye dayanan gerçek fiziksel öngörüler mümkündür. Fikir, hayatın gerçekleşebilmesi için karbonun var olması gerektiği gözlemiyle başlıyor. Gerçekten de

evrende bol bol karbon var. Bu kadarının büyük patlamada oluşamayacağını biliyoruz bu da bizi karbonun yıldızlarda sentezlenmiş olduğu fikrine götürüyor. Hoyle karbonun yıldızlarda oluşabilmesi için çekirdeğinin özel bir hali –rezonant hal– olması gerektiğini fark ediyor. Bu bulgusunu deneycilere ilettiğindeyse öngördüğü hal –tam da bahsettiği şekilde– keşfediliyor.

Hoyle'nin öngörüsünün başarısı, antropik ilkenin etkili bir bilimsel araç olduğunun göstergesi olarak ara sıra öne sürülür. Ama yukardaki paragrafta hayat üzerine yapılan akıl yürütmenin paragrafın geri kalanıyla mantıksal bir bağı kurulamaz. Hoyle'nin yaptığı, karbonun varlığının gözlenmesi üzerinden karbonu var edebilecek bir sürecin varlığını çıkarsamaktan ibarettir. Hayat için karbonun gerekliliği fikrin içinde temel bir yer teşkil etmez.

Antropik ilkeye destek olarak anılan diğer bir örnek Steven Weinberg'in 1987 yılında yazdığı ünlü bir makalede kozmolojik sabit üzerine yaptığı bir öngörüdür. Weinberg kozmolojik sabitin belirli bir değerden daha küçük olması gerektiğini aksi halde evrenin galaksilerin oluşumuna izin vermeyecek bir hızda genişleyeceğini söylemişti.[3] Galaksilerle dolu bir evren gözlediğimiz için kozmolojik sabit bu değerden daha düşük olmalıydı. Ve gerçekten de böyledir, böyle olması gerektiği gibi. Bu tam anlamıyla iyi bilimdir. Ama Weinberg bu geçerli bilimsel argümanı daha ileri götürdü. Weinberg, bir çoklu-evren olduğunu düşünelim ve bunun içindeki evrenlerin kozmolojik sabitlerinin rastgele dağılmış olduğunu kabul edelim diyordu. Bu durumda, olası doğru evrenlerin içinde kozmolojik sabitin tipik değerleri galaksi oluşumuna izin verecek en yüksek değere yakın olmalıydı. Kısaca, eğer çoklu-evren yaklaşımı doğruysa kozmolojik sabitin mümkün olan en yüksek değere –galaksilerin oluşumuna hâlâ izin verecek şekilde– sahip olmasını beklemeliyiz.

Weinberg bu öngörüsünü yayımladığında kozmolojik sabitin sıfır olduğuna inanılıyordu. Bu açıdan bakıldığında öngörüsü-

3 S. Weinberg, "Anthropic Bound on the Cosmological Constant," Phys. Rev. Lett. 59(22):2607-10 (1987).

nün, yaklaşık bir 10 çarpanı dışında, doğru çıkması son derece etkileyiciydi. Yine de yeni bulgular Weinberg'in önermelerinin daha dikkatli gözden geçirilmesini gerektirdiğinde bazı sorunlar baş gösterdi. Weinberg fikirlerini, içlerinde sadece kozmolojik sabitin rastgele dağıldığı bir evrenler kümesi üzerinden yürütmüştü; diğer bütün parametrelerin sabit olduğunu kabul etmişti. Aslında *bütün* parametrelerin galaksi oluşumuna izin verdiği bir çoklu evren üzerinden yine bütün parametrelerin değişken olduğunu kabul ederek bir ortalama almalıydı. Böyle bir yaklaşımda kozmolojik sabitin değeri gözlenenden çok daha farklı çıkar.

Bu tespit böyle yaklaşımların inatçı bir sorununa parmak basıyor. Eğer modeliniz içlerinden sadece kısıtlı bir parçasını gözleyebildiğiniz rastgele dağılmış parametreler üzerine kuruluysa, gözleyemediğiniz parametreler üzerine yaptığınız varsayımlara bağlı olarak çok farklı öngörülerde bulunabilirsiniz. Örneğin her birimiz birçok topluluğun üyesiyiz. Bu toplulukların çoğunda ortalama bireyler olabiliriz ama diğer birçok topluluğun normlarına göre sıra dışıyızdır. Kitabın kapağındaki yazarın kısa biyografisi bölümüne sadece tipik bir birey olduğumu yazdığımı varsayalım. Bunun üzerinden benim hakkımda tutarlı çıkarımlarda nasıl bulunabilirsiniz?

Antropik ilkenin zayıf halinin sınanabileceği diğer birçok sistemden bahsedebiliriz. Temel parçacıklar fiziğinin standart modelindeki sabitler açıkça bu sayıların rastgele dağılmış olduğu bir olası evrenler kümesinden çıkaracağımız değerlerden farklıdır. Örneğin böyle bir yaklaşımda, ilk aile dışındaki kuark ve lepton kütlelerinin rastgele dağılmış olduğunu düşünürdük, ama bunların arasında örüntüler gözlenmiştir. Yeğin çekirdek kuvvetlerinin bazı simetrileri gerçekte olduğundan çok daha sert bir şekilde kırması gerektiğini de çıkarırdık. Aynı zamanda protonun deneysel kısıtlarla çelişkili olarak hızlıca bozunması gerektiğini söylerdik. Kısacası, rastgele dağılmış yasalara sahip bir çoklu-evren modelinden çıkarılmış başarılı bir öngörüden haberdar değilim.

Peki yukarıda bahsettiğimiz, evrenimizin hayata elverişli olmasının sınanabilen varsayımlarla açıklanabileceğini kabul

eden üçüncü şık için neler söyleyebiliriz? 1992 yılında tam da bu şekilde işleyen bir mekanizmayı ortaya atmıştım. Çoklu-evren kuramlarından sınanabilir öngörüler çıkarabilmemiz için evrenler kümesi hiç de rastgele olmamalıdır. Öyle girift bir yapısallık içermelidir ki evrenlerin hepsinin ya da çoğunun hayatın varlığıyla alakası olmayacak ortak özelliklerinden bahsedebilmeliyiz. Bu durumda kendi evrenimizin de bu özelliklere sahip olması gerektiğini öngörebiliriz.

Bu tür bir kuram elde etmenin bir yolu doğal seçilimin biyolojide oynadığı rolü taklit eden bir mekanizma kurgulamaktır. Böyle bir modeli 1980'lerin sonlarında, sicim kuramının çok sayıda halinin olduğunu anlamaya başlamamızla aynı zamanda icat etmiştim. Richard Dawkins ve Lynn Margulis gibi uzmanların kitaplarından biyologların *uyumluluk manzarası* adını verdikleri, olası fenotip uzayları üzerine evrimsel modeller kurduklarını öğrenmiştim. Temel fikri ve terminolojiyi uyarlayarak yeni evrenlerin kara deliklerin içinde doğduğuna dair bir yaklaşım oluşturmuştum. *Evrenin Yaşamı* (1997) adlı kitabımda bu fikrin yol açtığı sonuçlar üzerinde derinlemesine açılımlar yapmıştım. Onları burada tekrar etmeyeceğim. Sadece *kozmolojik doğal seçilim* adını verdiğim kuramdan orijinal öngörüler çıkarmış olduğumu söylemek istiyorum. Bunlardan ikisi üzerine 1992 yılında makaleler yazmıştım ve o zamandan beri yapılan deneylerle yadsınabilecek olmalarına rağmen ayakta kalmayı başardılar. Bu öngörüler (1) güneşin kütlesinin 1,6 katından daha kütleli nötron yıldızlarının var olmaması ve (2) Şişme kuramı tarafından öngörülen tedirgemelerin yelpazesinin –ve kozmik ardalan ışınımında gözlenen– tek alanlı ve tek parametreli, en basit şişme modeliyle uyumlu olmasıdır.[4]

Susskind, Linde ve diğerleri kozmolojik doğal seçilim fikrini eleştirdiler. Onlara göre ebedi şişme modelinde sürekli yaratılan evrenlerin sayısı kara delikler içinde yaratılacakların sayısını kat be kat aşmalıydı. Bu eleştiriye cevap verebilmek

[4] L. Smolin, "Did the Universe Evolve?," *Class. Quant. Grav.*, 9(1), s. 173-91 (1992).

için, ebedi şişme modelinin öngörülerinin ne kadar güvenilir olduklarını anlamamız önemlidir. Bazen sanki ebedi olmadan şişmenin kolaylıkla gerçekleşemeyeceği fikri öne sürülür. Şişme kuramına bağlı kozmolojilerin bazı öngörülerinin doğrulanmış olması da buna destek olarak sunulur. Fakat şişme fikrinden ebedi şişme modeline gidebilmemiz için şu anda görülen evren için söyleyebildiklerimizin çok çok daha büyük uzay bölgeleri için de geçerli olacağına bir engel olmadığının kabulü gerekir. Burada iki sorun var: Birincisi öngörülerimizin çok daha geniş bölgeler için geçerli olması için bazı şişme modellerinde erken evrende çok daha küçük bölgelerden bahsetmemiz gerekir. (Burada daha fazla açmayacağım ama bu birçok şişme modeli için geçerlidir.) Bu da şu andaki evrenimizden çok çok daha büyük ve hızla şişmiş bir evren kurgulamamız için erken evren betimlememizin Planck zamanından çok çok daha küçük zaman ölçeklerine taşımamız gerektiği anlamına gelir. Bundan çok daha önce kuantum kütleçekim önemli olmuş olmalıdır. Burada asıl sorun, şişme modellerinde uzayzamanın klasik ve kuantum etkilerinin etkisiz olduğu kabulleridir; dahası birçok kuantum kütleçekim kuramı Planck zamanından daha kısa bir zaman aralığından bahsedilemeyeceğini öngörür. İkinci sorun şişme kuramının öngörülerinin şu anda gözleyebildiğimiz en geniş ölçeklerde geçersiz olduğu üzerine elde edilmiş göstergelerdir (13. Bölüm). Kısacası şişme kuramından ebedi fikrine geçiş hem kuramsal hem de deneysel olarak sorunludur. Bu da bunun üzerine kurulan fikirlerin kozmolojik doğal seçilim kavramına bir eleştiri oluşturamayacağı anlamına gelir.

Antropik ilkenin gerçek hiçbir öngörüde bulunamamasına ve ilerde de bunun pek mümkün görünmemesine rağmen, Susskind, Weinberg ve bazı diğer önde gelen kuramcılar onu sadece fizikte değil aynı zamanda fiziksel bir kuramın ne olduğu kavramı üzerine de bir devrime işaret eden bir fikir olarak kabul etmiş durumdalar. Yeni makalelerinden birinde Weinberg şöyle bir iddiada bulunuyor:

> Bilim tarihindeki çoğu gelişme doğa hakkındaki bir keşfe dayanır, ama bazı dönüm noktalarında bilimin kendisi hakkında keşiflerde bulunduk... Belki de şimdi, fiziksel bir kuramın meşru zeminin ne olması gerektiği üzerine kökten değişimler gerektiren yeni bir dönüm noktasındayız. Fiziksel parametrelerin olası değerlerinin sicim kuramı manzarası tarafından öngörülen çokluğu antropik ilke üzerinden mantık yürütmenin fiziksel bir kuramın temeli olabileceği fikrini güçlendiriyor: Doğayı inceleyen her bilimci kuram manzarasının öyle bir bölgesinde olmalıdır ki parametreler hayatın oluşmasına ve buradan da bilimcilerin evrilmesine izin vermelidir.[5]

Steven Weinberg standart modele yaptığı katkılarla hak edilmiş bir onura sahiptir, yazıları çoğunlukla ikna edici ve ayık bir akılcılık içerir. Ama açıkçası, bir kere böyle akıl yürütmeye başladığınızda kuramınızı, bilim tarihinde yer almış geçerli kuramları güzel ama yanlış olanlardan ayırt etmek için gerekliliğini defalarca gözlediğimiz sınamalardan geçirme yeteneğini kaybedersiniz. Bu sınamalar için bir kuram yanlışlanabilecek ya da doğrulanabilecek kesin öngörülerde bulunmalıdır. Eğer yanlışlanma riski çok yüksekse o zaman doğrulanma çok daha önemlidir. Eğer hiçbir risk yoksa artık bilim yapmanın yolu kalmamıştır.

Bilimin sicim kuramının geniş manzarasını nasıl karşılayabileceği üzerine aklıma üç yol geliyor:

1- Sicim kuramı doğrudur ve rastgele çoklu-evren doğrudur. Bu durumda bilimin nasıl işlediği üzerine olan kuralları değiştirmeliyiz, çünkü olağan bilimsel ahlaka göre, doğrulanabilecek ya da yanlışlanabilecek hiçbir öngörüde bulunamayan bir kurama inanmayı reddederiz.
2- Sicim kuramından sınanabilir ve biricik öngörüler çıkarmanın bir yolu bulunacaktır. Bu ya aslında tek bir kuram olduğunu göstererek ya da çoklu-evrenin rastgele olmayan başka bir kuramı üzerinden sınanabilir öngörüler çıkarılarak yapılabilir.
3- Sicim kuramı doğanın doğru kuramı değildir. Doğa, ilerde keşfedilecek ve kabul edilecek, sınanabilir öngörülerde bulunabilen ve deneylerin doğrulayacağı bir kuram tarafından yönetiliyordur.

---

5 Weinberg, "Living in the Multiverse," hep-th/0511037.

Bana göre kayda değer olan şey, bazı önemli bilim insanlarının ya sicim kuramının ya da rastgele çoklu-evren varsayımının yanlış olabileceğini kabul edememeleridir. Aşağıda ilgili bazı yorumların bir listesini bulacaksınız:

> "Antropik ilke kuramsal fiziğin tarihi amaçlarına o kadar ters geliyor ki gerekliliğini anlayana kadar çok direndim. Ama şimdi öne çıkıyorum." –JOSEPH POLCHINSKI
> "Antropik ilkeyi beğenmeyenler açıkça reddediş içindeler." – ANDREI LINDE
> "Çok geniş bir manzaranın olası gerçekliği kuramsal fizikte son derece ilgi çekici bir gelişmedir, bizi birçok varsayımımızı tekrar gözden geçirmeye zorluyor. Bence pekâlâ doğru olabilir." – NIMA ARKANI-HAMED (Harvard Üniversitesi)
> "Manzaranın gerçek olması oldukça makuldür." –MAX TEGMARK (MIT)

Edward Witten ise şaşırmış gözüküyor:

> "Kesin olarak söyleyebileceğim bir şey yok. Daha fazla şeyler öğreneceğimizi umuyorum."[6]

Yukarıda söylediklerinden alıntılar yaptığım kişilerin hepsine hayranım. Yine de sicim kuramının doğruluğu inancına akılcı olmayan bir şekilde bağlanmamış ve dürüst herkesin bu durumu daha açık göreceğini düşünüyorum. Bir kuram sınanabilecek öngörülerde bulunmakta aciz kalmıştır ve bazı taraftarları bunu kabul etmek yerine kuramlarının bilimsel fikirlerin geçmesi gereken olağan merhalelerden geçmemesi için kuralları değiştirme yolunu seçiyorlar.

Bir kuramın en başta onun hakkındaki beklentilerimizi karşılayamaması üzerine onu kurtarmak için bilimin kurallarını değiştirme fikrini reddetmek akılcı gözüküyor. Eğer sicim kuramı deneyler için kendine has öngörülerde bulunamazsa ve gizemli standart model hakkında –yaşayabileceğimiz bir evrende yaşıyor olmamız gerektiği dışında– hiçbir açıklama getiremezse

---

6 *Seed Magazine* dergisinin sicim kuramlarının çokluğu ve antropik ilke arasındaki ilişki üzerine yaptığı araştırmadan, http://www.seedmagazine.com/news/2005/12/surveying_the_landscape.

bu iyi bir kuram olmaktan çıkmıştır. Bilim tarihinde gördüğümüz üzere ümit vadeden birçok kuram terk edilmiştir. Neden bu da buna benzer bir durum olmasın?

Maalesef sicim kuramının yeni, kesin ve yanlışlanabilir hiçbir öngörüde bulunmadığı sonucuna vardık. Yine de sicim kuramı doğa hakkında şaşırtıcı iddialarda bulunur. Acaba günün birinde bir deney ya da bir gözlem bu özellikler hakkında kanıtlar ortaya çıkarabilir mi? Kesin evet-hayır öngörüleri –bir kuramı ya yanlışlayan ya da doğrulayan öngörüler– olmamasına rağmen sicim kuramında merkezi rol oynayan bazı özellikler hakkında kanıtlar elde edebilir miyiz?

Sicim kuramının getirdiği en aşikâr yenilik sicimlerin ta kendisidir. Eğer sicim ölçeğinde deneyler yapabilseydik onlar hakkında, eğer varsalar, oldukça fazla kanıt elde edebilirdik. Temel nesnelerin noktasal parçacıklar yerine bir boyutlu sicimler olduğunun belirtilerini gözlerdik. Ama hızlandırıcı deneylerinde bunun için gereken enerji seviyesinin yanına bile yaklaşamıyoruz. Acaba sicimlerin kendilerini göstermesini sağlamanın başka bir yolu var mıdır? Acaba bir şekilde sicimlerin büyümelerini ve bunun sonucunda da görünür olmalarını sağlamak mümkün müdür?

Yakınlarda, Edmund Copeland, Robert Myers ve Joseph Polchinski bu yönde bir fikir geliştirdiler. Kozmoloji hakkında bazı oldukça özel kabuller yapıldığında evrenin başlangıcında çok uzun sicimlerin yaratıldığı ve bunların hâlâ varlıklarını sürdürdükleri sonucuna varılabilir.[7] Evrenin genişlemesi bu sicimleri milyonlarca ışık yolu uzunluğuna getirmiştir.

Bu olgu sadece sicim kuramına özgü değildir. Galaksi oluşumunun bir süre rağbet görmüş bir kuram uyarınca devasa elektromanyetik akı sicimlerinin galaksileri oluşturan tohumlar olduğuna inanılıyordu. Bu sicimler Büyük Patlamada yaratılmışlardı. *Kozmik sicimler* olarak adlandırılan bu nesnelerin sicim kuramıyla hiçbir alakası yoktu: ayar kuramlarının yapı-

7 E.J. Copeland, R. C. Myers ve J. Polchinski, "Cosmic F- and D-Strings," *Jour. High Energy Phys.*, Art. no. 013, Haziran 2004.

sal özelliklerinin bir sonucuydular. Onları süperiletkenlerde gerçekleşen kuantumlanmış manyetik akı çizgilerine benzetebiliriz: Evrenin hayatının başlarında soğuması sonucu gerçekleşen faz dönüşümü esnasında yaratılırlar. Şu anda kesin olarak biliyoruz ki evrende yapıların oluşumunda temel bir rol oynamamışlardır. Yine de Büyük Patlamanın kalıntıları olarak az sayıda kozmik sicim var olabilir. Astronomlar kozmik sicimleri uzak galaksilerin ışığı üzerindeki etkileri üzerinden keşfetmeye çalışırlar. Eğer uzak bir galaksiyle aramızda kozmik bir sicim varsa sicimin oluşturduğu kütleçekim alanı bir mercek gibi davranacak ve galaksinin görüntüsünü kendine has bir şekilde çoğaltacaktır. Kara madde, başka bir galaksi gibi diğer kütleçekim kaynakları da bu etkiyi yaratır ama astronomlar etkilerin farklılığını ayırt edebilirler. Yakınlarda böyle bir merceğin keşfedildiği üzerine bir rapor yayımlandı. Hatta iyimser bir şekilde CSL-1 [kozmik sicim merceği] olarak adlandırılmıştı. Ama aynı gözlem Hubble uzay teleskobu aracılığıyla tekrarlanınca bunun aslında birbirine çok yakın iki galaksiden oluştuğu anlaşıldı.[8]

Copleland ve meslektaşları bazı özel durumlarda temel bir sicimin dahi kozmik bir sicim gibi evrenin genişlemesi sayesinde devasa boyutlara gerilebileceğini bulmuşlardı. Bu durumda etkileri de kozmik bir sicimin etkilerine benzeyecek ve mercek davranışı üzerinden gözlenebilecekti. Bu boylardaki bir temel sicim kütleçekim dalgaları için devasa bir kaynak olacaktır ve LIGO tarafından gözlenebilir.

Bu tür öngörüler günün birinde sicim kuramının deneylerle doğrulanabileceği ümidimizi besliyor. Yine de kozmik bir sicimin gözlenmesi sicim kuramının doğrulanması anlamına gelmez çünkü diğer birçok kuram kozmik sicimlerin varlığını öngörür. Bunların gözlenmemesi de sicim kuramının yanlış olduğu anlamına gelmez çünkü kozmik sicimler ancak çok özel koşullarda yaratılır ve bu durumda da bizim evrenimizde var olmalarını beklemenin bir sebebi yoktur.

---

8 M. Sazhin vd. "CSL-1: Chance Projection Effect or Serendipitous Discovery of a Gravitational Lens Induced by a Cosmic String?" Mon. Not. R. Astron. Soc. 343, s. 353-59 (2003).

Sicim kuramı sadece sicimlerden bahsetmez. Bütün anlamlı sicim kuramları fazladan boyutlara ihtiyaç duyar, bütün kuvvetlerin birleştiğini ve doğanın süpersimetrik olduğunu söyler. Elimizde detaylı öngörüler olmasa da bu varsayımların doğada gerçekleşip gerçekleşmediğini sınayabiliriz. Sicim kuramından bağımsız olabilecekleri için bunların herhangi biri hakkında olumlu kanıtlar bulmak sicim kuramını doğrulamaz. Ama bunun tersi doğru değildir: Eğer süpersimetrinin ya da fazladan boyutların ya da kuvvetlerin birleşmesinin doğada gerçekleşmediği üzerine kanıtlar elde edersek biliriz ki sicim kuramı yanlış olmalıdır.

Fazla boyutlarla başlayalım. Onları direkt olarak görmek mümkün olmayabilir ama yine de dolaylı etkilerini inceleyebiliriz. Bunun yollarından biri fazladan boyutlar içeren bütün kuramlarda yer alan yeni kuvvetleri aramaktır. Bu kuvvetler fazladan boyutların geometrisini belirleyen alanlar tarafından yaratılırlar. Bu alanlar var olmalıdır, çünkü fazladan boyutların etkilerini sadece bilinen kuvvetlere yol açacak şekilde kısıtlamak mümkün değildir.

Bu alanlardan kaynaklanan kuvvetler kabaca kütleçekim kadar şiddetlidir ama bazı yapısal farklılıklar içerirler: menzilleri sınırlı olabilir ve bütün enerji biçimleriyle aynı şekilde etkileşmeyebilirler. Günümüzde yapılan bazı deneyler bu varsayımsal kuvvetlerin etkilerine karşı son derece hassastır. Yaklaşıl on yıl önde bir deneyde böyle fazladan bir kuvvet olarak algılanabilecek etkiler gözlenmişti ve *beşinci kuvvet* olarak adlandırılmıştı. Daha sonraki deneyler bu iddiayı desteklemedi ve şu ana kadar bu tür kuvvetler üzerine bir kanıt bulunamadı.

Sicim kuramcıları genel olarak fazladan boyutların küçücük olduğunu kabul eder, ama 1990'lardan beri bazı maceraperest fizikçiler bunun bir mecburiyet olmadığını fark ettiler; fazladan boyutların geniş hatta sonsuz olabileceğini öne sürdüler. Bu zar-dünyalar modellerinde mümkündür. Böyle bir resimde bizim üç boyutlu uzayımız dört ya da daha fazla boyut içeren bir uzayda yer alan bir zar gibidir; tıpkı gerçek fiziksel bir zar gibi ama üç boyutlu bir zar. Standart modeli oluşturan parçacıklar

ve kuvvetler –elektronlar, kuarklar, fotonlar ve bunları etkileyen kuvvetler– ancak dünyamızı oluşturan üç boyutlu zar üzerinde var olabilirler. Bu durumda bu kuvvetlerin yol açtığı süreçleri inceleyerek fazladan boyutları gözleyemeyiz. Tek istisna kütleçekimdir. Kütleçekim evrensel olduğundan uzayın bütün boyutlarında etkilidir.

Bu tip bir model ilk olarak SLAC kadrosunda bulunan Nima Arkani-Hamed, Gia Dvali ve Savas Dimopoulos tarafından oluşturuldu. Bulguları şaşırtıcıydı: fazladan boyutlar deneylerle çelişmeden beklenenden çok daha büyük olabiliyorlardı. Örneğin eğer fazladan iki boyut varsa bir milimetreye kadar geniş olabiliyorlardı.[9]

Fazladan boyutları bu şekilde ele almanın en belirgin etkisi kütleçekimin fazla boyutlu sistemlerde, bizim üç boyutlu dünyamızın yer aldığı zarda olduğundan çok daha kuvvetli olmasıydı. Bunun sonucunda da kuantum kütleçekim etkileri beklenenden çok daha büyük uzunluk ölçeklerinde kendini göstermeye başlıyordu. Kuantum kuramında büyük bir uzunluk ölçüsü daha düşük enerji ölçeği demektir. Fazladan boyutları bir milimetre boyutlarında alırsak kuantum kütleçekim etkilerinin de daha düşük enerjilerde gözleneceğini söyleyebiliriz –bu durumda bu enerji 10^{19} Gev olan Planck enerjisinden 1000 Gev'e kadar düşer. Bu standart model parametrelerinin en inatçı sorununa –Proton kütlesinin Planck enerjisinden 10^{19} kat daha küçük olmasının nedeni– bir çözüm olarak görülebilir. Modelin daha da heyecan uyandırıcı bir yönüyse kuantum kütleçekimin LHC deneylerinde çalışılabilecek olmasıdır. Olasılıklar içinde temel parçacıkların çarpışmaları sonucu kuantum kara delikler oluşması da vardır ki bu oldukça etkileyici bir keşif olurdu.

Diğer bir tür zar dünya modeli Harvard'dan Lisa Randall ve Johns Hopkins Üniversitesinden Raman Sundrum tarafından geliştirildi. Fazladan boyutlu dünyada negatif bir kozmolojik sabit varsa fazladan boyutların sonsuz boyda olabileceğini gös-

---

9 N. Arkani-Hamed, G. Dvali ve S. Dimopoulos, "The Hierarchy Problem and New Dimensions at a Millimeter," *Phys. Lett. B*, 429, s. 263-72 (1998).

terdiler.[10] Bu modelin günümüz verileriyle uyum içinde olması etkileyicidir, aynı zamanda yeni öngörülerde de bulunur.

Bunlar oldukça maceraperest ve üzerine düşünmesi eğlenceli yaklaşımlar, mucitlerini gerçekten takdir ediyorum. Buna rağmen zar-dünya modelleri kafamı karıştırıyor. Fazladan boyutlar kullanarak birleştirme yaklaşımlarının sonunu getiren aynı dertten mustaripler. Zar-dünya senaryoları ancak fazladan boyutların geometrisi ve bilinen boyutların bunların içine nasıl yerleştirildiği üzerine özel varsayımlar kabul edildiğinde işliyor. Kaluza-Klein modellerinin temel sorunları yanında kendilerine has problemleri de var. Eğer fazladan boyutlu dünyada bir zar yerleştirilebiliyorsak bunların sayısı birden fazla olamaz mı? Eğer başka zarlar varsa bunlar birbirleriyle ne sıklıkla çarpışırlar? Gerçekten de Büyük Patlamanın zarların çarpışmasından kaynaklandığı üzerine öneriler var. Fakat eğer bu çarpışma bir kere gerçekleştiyse neden sonradan hiçbir çarpışma olmadı? Yaklaşık on dört milyar yıl geçti. Bunun cevabı belki de zarların sayısının az olmasıdır, ama bu da ancak çok ince ayarlanmış şartlar kabul edildiğinde doğru olabilir. Ya da belki de zarlar birbirlerine tamamen paraleldir ve fazla da hareket etmezler; yine ince ayarlanmış şartlar gerekiyor.

Bu sorunların ötesinde şüphelerimin temel kaynağı bu senaryoların ardalan geometrileri hakkında özel kabullerde bulunmasıdır. Bu da Einstein'ın temel önerisiyle uyum içinde değil. Einstein genel görelilik kuramıyla uzayzamanın dinamik olduğunu ve fiziğin ardalandan bağımsız şekillerde ifade edilmesi gerektiğini göstermişti. Yine de bilim böyledir işte; deneylerle sınanabilecek cüretli fikirler. Yine de eğri oturup doğru konuşalım. Eğer zar-dünya modellerinin herhangi bir öngörüsü doğrulansa bile bu sicim kuramının doğrulandığı anlamına gelmeyecek. Zar-dünya kuramları kendilerine has bir kategori oluşturuyor; sicim kuramına ihtiyaçları yok. Aynı zamanda sicim kuramı içinde bütün detaylarıyla çalışılmış bir zar-dünya

10 L. Randall ve R. Sundrum, "An Alternative to Compactification", hep-th/9906064, *Phys. Rev. Lett.* 83, s. 4690-93 (1999).

modeli de henüz yok. Öte yandan eğer zar-dünya modellerinin hiçbir öngörüsü doğrulanmasa bile sicim kuramının yanlışlanmış olduğunu söyleyemeyiz. Zar-dünyalar sicim kuramındaki fazladan boyutların olası davranışları içinde küçük bir kümeyi oluşturur.

Sicim kuramının ikinci önemli öngörüsü doğanın süpersimeterik olduğudur. Bunun üzerine de yanlışlanabilir öngörüler yok: Bildiğimiz üzere eğer doğa süpersimetrikse bu kırılmış olmalıdır. 5. Bölümde söylediğimiz gibi süpersimetri LHC deneylerinde gözlenebilir. Bu mümkündür ama maalesef kesin değildir, süpersimetri doğru olsa bile.

Şanslıyız ki süpersimetriyi sınamanın diğer yolları da vardır. Bunlardan biri kara maddedir. Standart modelin süpersimetrik genelleştirmelerinin birçoğunda en hafif yeni parçacık kararlıdır ve elektrik yüke sahip değildir. Bu yeni kararlı parçacık kara madde olabilir. Sıradan maddeyle ancak kütleçekim ve zayıf çekirdek kuvvetleri aracılığıyla etkileşir. Bu tür parçacıklara WIMP diyoruz. Bunları gözlemek için birçok deney kurulmuştur. Bu deneylerdeki algılayıcılar kara maddenin bilinen maddeyle zayıf çekirdek kuvvetleriyle etkileşmesi üzerine tesis edilmiştir. WIMP'ler tıpkı ağır nötrinolar gibidir. Bildiğimiz gibi nötrinolar da sadece kütleçekim ve zayıf çekirdek kuvvetini hissederler.

Maalesef, süpersimetsik kuramların son derece fazla serbest parametresi olması yüzünden, WIMP'lerin kütlesi ya da etkileşmelerinin şiddeti gibi ayrıntılar üzerine elimizde kesin öngörüler yok. Ama eğer gerçekten kara madde WIMP'lerden oluşuyorsa, galaksi oluşumunda aldıkları roller hakkında varsayımlarda bulunarak kütlelerinin hangi aralıkta olması gerektiğini çıkarsayabiliriz. Bu aralık, kuram ve deneylerin işaret ettiği gibi, en hafif süpersimetrik ortağın kütlesi seviyesindedir.

Deneyciler WIMP'leri keşfetmek için güneşten ya da uzak süpernovalardan gelen nötrinoları gözlemek için kullandıkları aygıtlara benzeyen algılayıcılar kullanır. Oldukça kapsamlı araştırmalar yapıldı ama henüz bir WIMP adayı keşfedilmedi. Tabii ki bu nihai bir sonuç olamaz –sadece eğer WIMP'ler varsa

algılayıcıyı etkilemeyecek kadar hafif etkileri olduğu anlamına gelir. Kesin olarak söyleyebileceğimiz şey şu: Eğer WIMP'lerin etkileşme şiddeti nötrinolarınkiyle aynı olsaydı şu ana kadar onları gözlemiş olmalıydık. Yine de süpersimetrinin herhangi bir şekilde olabilecek keşfi fiziğin çok büyük bir başarısı olacaktır.

Kendimize sürekli hatırlatmamız gereken bir şey var. Sicim kuramı doğanın belirli bir enerji ölçeğinde süpersimetrik olduğunu söyler, ama bu ölçeği belirleyemez. Bu da eğer LHC'de süpersimetri gözlenmezse sicim kuramının yanlışlanmış olmayacağı anlamına gelir. Çünkü bahsettiğimiz ölçek kuramın tamamen ayarlanabilir bir özelliğidir. Öte yandan eğer süpersimetri gözlenirse sicim kuramı doğrulanmış olmayacaktır. Süpersimetriyi kabul eden ve sicim kuramına ihtiyaç duymayan kuramlar vardır. Örneğin standart modelin minimal süpersimetrik genelleştirmesi böyle bir kuramdır. Hatta kuantum kütleçekim kuramları arasında bile süpersimetri sadece sicim kuramına has bir özellik değildir. Örneğin ilmek kuantum kütleçekim* kuramı süpersimetriyle tamamen uyumludur.

Şimdi sicim kuramının üçüncü önemli genel öngörüsüne gelelim. Buna göre bütün temel kuvvetler belirli bir enerji seviyesinin üstünde birleşirler. Diğer örneklerde olduğu gibi bu fikir de sicim kuramına özgü değildir. Bu durumda da doğrulanması sicim kuramının geçerliliği anlamına gelmeyecektir; aslında sicim kuramından birden fazla birleştirme şekli çıkartılabilir. Yine de bunlardan birisi birçok kuramcıya göre *büyük birleştirmeyi* sağlar. 3. Bölümde gördüğümüz gibi büyük birleştirme kuramları protonun belirli bir zaman içerisinde bozunması gerektiğini söyler. Deneyler proton bozunumunu henüz gözleyemedi. Bu sonuçlar bazı büyük birleştirme kuramlarının geçersizliğini gösterdi ama yine de temel fikir hâlâ mümkün gözüküyor. Proton bozunumunun gözlenmemiş olması süpersimetrik olsun olmasın kuramlar üzerinde bir kısıt oluşturuyor.

---

* Loop Quantum Gravity –çn.

Kuramcıların büyük bir bölümü bahsettiğimiz bu üç öngörünün doğrulanacağını düşünüyor. Bunun üzerine deneyciler bu yönde yapılan araştırmalara büyük kaynaklar ayırdılar. Geçtiğimiz otuz yıl boyunca, büyük birleştirmenin, süpersimetrinin ve fazladan boyutların araştırılması için yüzlerce milyon dolar harcanmış olduğunu ve yüzlerce insanın mesleki kariyerini bu yönde ilerlettiğini söylemek abartı olmayacaktır. Bütün bu çabalara rağmen bu varsayımlar üzerine hiçbir bilgi elde edebilmiş değiliz. Bu fikirlerin herhangi birisinin doğrulanması, sicim kuramının sunduğu paketin bizi doğrudan uzaklaştırmak yerine aslında ona yaklaştırdığının ilk göstergesi olacaktır.

12. SİCİM KURAMI NEYİ AÇIKLIYOR?

Sicim kuramının bu garip öyküsünden ne dersler çıkarabiliriz? İlk süpersicim devriminden bu yana yirmi yıldan fazla zaman geçti. Bu süre zarfında sicim kuramı kuramsal fiziğin dikkatine ve kaynaklarına dünya çapında hâkim oldu; binden fazla son derece yetenekli ve çok iyi eğitimli fizikçi konu üzerinde çalıştı. Kuramın içeriği üzerine dürüst fikir ayrılıkları beklenen bir durum olmasına rağmen, bilim eninde sonunda kuram hakkında bir fikir birliğine varmamızı sağlayacak kanıtları oluşturabilmelidir. Geleceğin birçok değişikler getirebileceğinin farkında olarak bu kısmı sicim kuramının *bilimsel bir kuram hakkında bir öneri* olarak konumunu değerlendireceğim.

Açık olayım. Yapılan araştırmaların kalitesini eleştirmiyorum; birçok sicim kuramcısı son derece parlak ve iyi yetişmiş bilimcilerdir ve işlerinin kalitesi de en üst düzeydedir. İkinci olarak sicim kuramının tatmin edici bir fiziksel kuram olup olmadığı sorusunu, sicim kuramı üzerine yapılan araştırmaların matematikte ve fiziğin bazı diğer dallarında yeni anlayışlara yol açıp açmadığı sorusundan ayırmak istiyorum. Kimse sicim kuramı üzerine yapılan araştırmaların ayar kuramlarını artık daha iyi anlamamız ve diğer birçok matematiksel sonuca yol açmış olduğu gerçeğini sorgulamıyor. Ama matematiğin ve fiziğin diğer dallarındaki bazı olumlu etkileri bir kuramın bilimsel bir kuram olduğu üzerine olumlu ya da olumsuz kanıt olarak kullanılamaz.

Değerlendirmek istediğim esas nokta sicim kuramının, kütleçekim, temel parçacıklar fiziği ve kuantum kuramını birleştirme hususunda bulunmuş olduğu vaatleri ne ölçüde gerçekleştirmiş olduğudur. Sicim kuramı Einstein'ın 1905 yılında başlatmış olduğu bilimsel devrimin nihai noktası olabilir de olmayabilir de. Bu tür bir değerlendirme gerçekleşmemiş varsayımlar, ka-

nıtlanmamış savlar ya da kuramın yandaşlarının geleceğe yönelik ümitleri üzerinden yapılamaz. Bilimden bahsediyoruz, bir kuramın içeriği sadece bilimsel literatürde yayımlanmış eserler ve sonuçlar üzerinden değerlendirilebilir; faraziyeleri, delilleri ve ispatları ayrıştırmaya özen göstermeliyiz.

Bazıları böyle bir değerlendirme için henüz çok erken olup olmadığını sorgulayabilir. Yine de sicim kuramının otuz beş yılı aşan bir süredir gelişim halinde ve en az yirmi beş yıldır dünyanın en parlak zekâlarının ilgisini çekmekte olduğunu unutmamalıyız. Daha önce de bahsetmiş olduğum gibi, en azından geç 18. yüzyıldan beri, bu tür genellik iddiasında olan bir kuramın etkileyici deneysel ve kuramsal destekleri sağlamada on yıldan fazla süre geçirmiş olmasının bilim tarihinde benzeri yoktur. Deneysel zorluklara işaret etmekte de iki sebepten ötürü fayda yoktur: Birincisi sicim kuramının açıklaması gereken verilerin büyük bir kısmı –parçacık fiziğinin ve kozmolojinin standart modellerindeki sabitler gibi– bilinmektedir. İkincisi sicimler dolaysız bir gözlem için çok küçüktür, doğru, ama daha önceki kuramlar hemen her zaman yeni tür, kendilerinden önceki bilgi dağarcığıyla düşünülemeyecek deneylere yol açacak söylemlerde bulunmayı başarmışlardı.

Bunlara ek olarak sınamayı yapmak için elimizde yeteri kadar delil bulunmaktadır. Sicim kuramı üzerine çalışan birçok kuramcı bize üzerinde düşünülecek geniş bir dağarcık sağlamayı başarmıştır. Aynı şekilde, kuramın yoğun çalışmalara rağmen ucu açık kalmış savları ve varsayımları bilgi içerir. Kilit konumdaki birçok sav her biri en az on yıllık olmasına rağmen halen çözüme ulaştırılmış değildir ve bunun yakın gelecekte olabileceğine dair işaretler de yok.

Son olarak sicim kuramı, 10. Bölümde bahsetmiş olduğumuz devasa kuramlar manzarası karşısında bir tür krize girmiştir ve bu durum birçok bilimciyi kuramın vaatlerini gözden geçirmeye yöneltmiştir. Yani yeni gelişmelerin resmi değiştirebileceğini kabul etmekle beraber, sicim kuramının bir bilimsel kuram olarak değerlendirmesini yapmak için iyi bir zamandayız gibi duruyor.

Herhangi bir kuramın değerlendirilmesindeki ilk adım gözlem ve deneylerle olan karşılaştırma olmalıdır. Bunu bir önceki bölümde tartışmıştık. Sicim kuramı üzerine harcanan bunca emekten sonra öğrendik ki kuramı kesin olarak doğrulamayı ya da yanlışlamayı günümüzde yapılabilecek deneylerle sağlayamayacağız.

Bazı bilimciler bu durumu kuramdan vazgeçmek için yeter kanıt olarak algılayabilir ama sicim kuramı aslında bazı kuramsal bilmeceleri çözebilmek için icat edilmişti. Bu yüzden, deneysel sınamanın yokluğunda bile zor sorulara ikna edici cevap verebilecek bir kuramı kabul etmeye meyilli olabiliriz. Birinci Bölümde kuramsal fiziğin çözmesi gereken beş ana sorundan bahsetmiştim. Einstein'ın başlattığı devrimi sona erdirecek kuram onların hepsinin üstesinden gelebilmelidir. Bu yüzden sicim kuramının bunu başarıp başarmadığını değerlendirmek haksızlık olmayacaktır.

Sicim kuramı hakkında tam olarak neler bildiğimizi sıralayarak başlayalım.

Her şeyden daha önemlisi, kuramın bütünsel bir formülasyonu bulunmamaktadır. Sicim kuramının temel ilkelerinin ne olduğu hakkında üzerinde fikir birliğine varılmış bir öneri ya da kuramın temel denklemlerinin bir listesi yoktur. Dahası, böyle bir formülasyonun varlığı üzerine bir ispat da yoktur. Sicim kuramı üzerine bildiklerimiz aşağıdaki dört sınıf kuram hakkında çoğunlukla yaklaşık hesaplara ve faraziyelere dayanan bulgulardan ibarettir.

1. En iyi anlaşılmış kuramlarda sicimler, on boyutlu düz uzayzaman gibi basit ardalan geometrileri üzerinde hareket ederler; geometri değişmez ve kozmolojik sabit sıfırdır. Dokuz uzay boyutundan bazılarının kıvrıldığı diğerlerininse düz kaldığı bazı örnekler de vardır. Bu kuramları iyi anlıyoruz çünkü sicimlerin ve zarların bu ardalan üzerinde gerçekleşen hareketleri ve etkileşmeleri üzerine detaylı hesaplamalar yapabiliyoruz.

Bu kuramlarda hareketler ve etkileşmeler *tedirgeme kuramı* olarak adlandırılan bir yaklaşıklık yöntemiyle çalışılır. Şu ana kadar bu kuramlarda, bahsettiğimiz yaklaşıklık yönteminde

ikinci mertebede elde edilen sonuçların sonlu ve tutarlı öngörülerde bulunduğu gösterilmiştir. Diğer bazı sonuçlar da bu kuramların tutarlılığını destekler görünse de şu anda geçerli bir ispat yoktur. Bunlara ek olarak elde edilmiş çok sayıda sonuç ve sav bu kuramları birbirlerine bağlayan bir ikilikler ağına işaret etmektedir.

Fakat bu kuramların her biri dünyamız hakkında iyi bildiğimiz gerçeklerle uyumsuzluk içindedir. Birçoğu kırılmamış süpersimetriler barındırır ki bu dünyamızda gözlenmeyen bir durumdur. Kırılmamış süpersimetriler içermeyen az sayıdaki kuram fermiyonların ve bozonların aynı kütlelere sahip süper eşlere sahip olduğunu öngörür ki bu duruma da doğada rastlamıyoruz. Bunlar aynı zamanda kütleçekim ve elektromanyetizmaya ek olarak sonsuz menzilli ve yine doğada gözlenmeyen yeni kuvvetler öngörürler.

2. Negatif kozmolojik sabite sahip bir dünya kabul edildiğinde Maldacena savına dayanarak varlığı iddia edilen bir sicim kuramları sınıfı vardır. Bu sav, negatif kozmolojik sabite sahip bazı uzaylardaki sicim kuramlarını süpersimetrik ayar kuramlarına bağlar. Şu ana kadar bu kuramlar, son derece yüksek simetriye sahip bazı özel durumlar dışında, kurgulanamamış ve çalışılamamıştır. Maldacena savının bazı daha zayıf hallerinin geçerliliği hakkında birçok delil vardır ama savın hangi halinin doğru olduğu halen bilinmemektedir. Eğer savın en güçlü hali doğruysa sicim kuramı bir ayar kuramına denktir ve bu ilişki negatif kozmolojik sabitli sicim kuramlarının kesin bir tanımına olanak sağlar. Yine de bu kuramlar evrenimizi betimleyemezler çünkü kozmolojik sabitin pozitif olduğunu biliyoruz.

3. Sicimlerin karmaşık ve devinen bazı ardalan geometrileri üzerinde hareket ettiği, kozmolojik sabitin sıfır olmadığı ve ardalan içinde zarların ve diğer alanların var olduğu sonsuz sayıda diğer kuramın var olduğu da öne sürülmüştür. Bu listenin içinde kozmolojik sabitin pozitif olduğu çok geniş bir sınıf da vardır ve bu deneylerle uyum içindedir. Şu ana kadar bu kuramları kesin olarak tanımlamak ya da öngörülere yol açabilecek hesaplamalar yapmak mümkün olmamıştır. Bu kuramların var-

lığı gerekli ama yeterli olmaktan çok uzak bazı şartların sağlanıyor olmasına dayandırılır.

4. Yirmi altı boyutlu uzayzamanda fermiyon ve süpersimetri içermeyen bozonik sicim olarak adlandırılan bir kuram vardır. Bu kuramda var olan takyonlar sonsuzluklara yol açarak kuramı tutarsızlaştırırlar.

Şu ana kadar sav olarak kabul edilen ya da kesin olarak oluşturulan bütün sicim kuramlarının daha derinde yatan ve *M-kuramı* olarak adlandırılan bir kuram aracılığıyla birleştirildiği hakkında öneriler vardır. Temel fikir anladığımız her sicim kuramının daha derinde yatan bu kuramın çözümleri olabileceğidir. Sicim kuramlarını birbirlerine bağlayan birçok ikilik hakkında elimizde bulunan deliller bu tür bir birleşik kuramın varlığına işaret etse de şu ana kadar kimse temel ilkelerini ve yasalarını formüle etmeyi becerememiştir.

Bu özetten anlayabileceğimiz gibi sicim kuramının her değerlendirilmesi tartışmalara yol açacaktır. Eğer dikkatimizi sadece var olduğu gösterilmiş, hesap yapmamıza ve öngörülerde bulunmamıza olanak tanıyan kuramlara yöneltirsek sicim kuramının doğayla hiçbir ilişkisi olmadığını açıkça söyleyebiliriz çünkü bu kuramların hepsi deneysel verilerle çelişki içindedir. Kısacası sicim kuramının doğayı betimleyebileceği ümidi henüz varlıkları kanıtlanmamış, varsayımsal sicim kuramlarına dayanmaktadır.

Yine de sicim kuramcılarının çoğu bu tür yapıların var olduğuna inanıyor. İnançlarını aşağıdaki dolaylı akıl yürütmeye dayandırıyorlar:

1. Sicim kuramının genel bir formülasyonunun var olduğunu ve bunun bilinmeyen ilkelere ve denklemlere dayandığını öne sürüyorlar. Bu bilinmeyen kuramın birçok çözümü olacağı ve bu çözümlerin her birinin belirli bir ardalan üzerinde hareket eden sicimleri betimleyeceği de varsayımlar arasında.
2. Ardından bilinmeyen kuramın kesin olarak geçerli denklemlerine bir yaklaşıklık olduğunu varsaydıkları bazı denklemleri yazıyorlar ve bu yaklaşık denklemlerin verili ardalanın sicimleri tutarlı bir şekilde içerebilmesi için gerekli ama yeterli olmayan

şartların keşfedilmesinde kullanılabileceğini varsayıyorlar. Bu denklemler Kaluza-Klein kuramlarının değişik halleri olarak ortaya çıkıyor; genel göreliliğin fazladan boyutlara genişletilmesini içeriyorlar.

3. Bu yaklaşık denklemlerin her çözümünün bir sicim kuramının varlığını gösterdiğini, o sicim kuramını tam olarak formüle edemeseler de, varsayıyorlar.

Bu tür bir akıl yürütmenin sorunu ilk adımın bir varsayım olmasından kaynaklanıyor. Yazılan denklemlerin başka bir kuramın denklemlerinin yaklaşık halleri olduğu açık değil, böyle bir kuramın varlığı da belli değil. Bu da ikinci adımı da varsayımsal yapıyor. Öte yandan bu varsayımsal yaklaşık denklemlerin bir sicim kuramının var olması için gerekli –yeterlinin yanında– şartları vereceği de kesin değil.

Böyle usavurumlar tehlikelidir; yani ispatlanmak istenenin varsayılması. Eğer bu mantık çizgisinin kabullerine inanırsak o zaman var olacağı varsayılan kuramları örnek sicim kuramları olarak kabul ederiz. Ama bunların sicim kuramları ya da herhangi bir kuram, *olmadığını*, sadece klasik bazı denklemlerin çözümleri olduğunu yine de hatırlamamız gerekir. Bu çözümlerin değeri sadece kimsenin formüle edemediği ya da kimsenin ispatlayamadığı varsayımlara dayanan sicim kuramlarının varlığına dayanır. Bunlara dayanarak daha kimsenin açıkça formüle edemediği sicim kuramlarının varlığına inanmak için yeterli bir sebep yok gibi görünüyor.

Bütün bunlardan ne gibi sonuçlar çıkarabiliriz? İlk olarak sicim kuramı üzerine olan bilgimizin eksik oluşunun kuramın çeşitli geleceklere gebe olduğunu. Şu anda bildiklerimiz üzerinden umutlarımızı tatmin edecek bir kuramın gelecekte belki ortaya çıkabileceğini pekâlâ söyleyebiliriz. Öte yandan elimizde gerçek bir kuramdan ziyade sadece özel simetrilerin kabul edildiği durumlardan elde edilen ve genelde ancak yaklaşık olarak adlandırabileceğimiz sonuçların olacağı bir gelecek de aynı şekilde mümkün.

Bir ardalan geometrisinde hareket eden sicimlerin kuramı olarak sicim kuramının temel bir kuram olmayacağı kaçınılmaz

bir çıkarım gibi gözüküyor. *Eğer sicim kuramın fiziğin bütünü için önemli olacaksa bunun sebebi ancak daha derinlerde yatan bir kurama işaret etmesidir.* Bu genel kabul gören bir fikirdir ve bahsedilen kuram da henüz keşfedilmemiş olsa bile bir ada sahiptir: M-kuramı.

Durum göründüğü kadar kötü olmayabilir. Örneğin kesinliğin son sınırında konuştuğumuzda birçok kuantum alan kuramının var olup olmadığını bilmiyoruz. Parçacık fizikçilerinin sıkça kullandığı kuantum elektrodinamiği kuantum kromodinamiği gibi kuramlar ve hatta standart model, sicim kuramı gibi ancak belirli bir yaklaşıklık hesabı üzerinden tanımlıdır. Yine de sicim kuramlarının aksine bu kuramların bahsedilen yaklaşım çerçevesinin her mertebesinde sonlu ve tutarlı sonuçlar verdiği ispatlanmıştır. Yine de standart modelin matematiksel kesinlik anlamında var olup olmadığı açık bir sorudur ve olmadığını düşünmek için iyi sebepler vardır. Eğer standart model daha genel geçerliliği olan başka bir kuramın eksik bir betimlemesiyse bu durumda rahatsız olacak bir şey yoktur.

Sicim kuramının o derin kuram olduğu düşünülüyordu. Elimizdeki kanıtlara baktığımızda böyle olmadığını kabul etmemiz gerekiyor. Doğa hakkında anlamları üzerinden bakıldığında, kuantum alan kuramları gibi sicim kuramı da daha geçerli olması beklenen bir kurama işaret eden bir yaklaşıklık çerçevesi gibi duruyor. Bu durum sicim kuramını önemsizleştirmez ama kuramın kendini ispatlamak için doğayı betimlemede en azından standart model kadar başarılı olması gerçeğine dikkat çeker. Doğru çıkması gereken yeni bir olgu öngörmeli ve şu ana kadar gözlenmiş olgularla çelişmemelidir. Sicim kuramının bunlardan birincisini beceremediğini gördük. İkincisi hakkında neler diyebiliriz?

Buna sicim kuramının 1. Bölümde bahsini ettiğimiz beş temel soruna nasıl cevaplar sunduğu üzerinden yaklaşabiliriz.

İyi haberlerle başlayalım. Sicim kuramı üçüncü sorun olan parçacıkların ve kuvvetlerin birleştirilmesi kavramı üzerinden gerekçelendirilmişti. Peki, birleştirici bir kuram olarak ne durumdadır?

Gayet iyi. Sicim kuramıyla uyum içindeki ardalan geometrilerinde sicimin titreşimleri bilinen parçacıkların ve kuvvetlerin tümünü içerir. Kütleçekimden sorumlu olan graviton kapalı sicimlerin titreşimleriyle açıklanabilir. Elektromanyetik kuvvetleri taşıyan foton da aynı şekilde sicimlerin belirli bir titreşim hali olarak ortaya çıkar. Zayıf ve güçlü etkileşmelerden sorumlu daha karmaşık ayar kuramları da aynı şekilde neredeyse kendiliğinden belirir. Kısacası sicim kuramı, doğada gözlediğimiz kokteyl gibi olmasa bile genel olarak ayar kuramlarını öngörür.

Böylelikle, en azından belirli bir ardalan geometrisinde yaşayan bozonlar, diğer bir deyişle kuvvet taşıyan parçacıklar bahis konusu olduğunda, sicim kuramı kütleçekimi diğer kuvvetlerle birleştirir. Bilinen dört kuvvetin her biri tek bir temel yapıtaşı olan sicimin değişik titreşim şekilleri olarak betimlenir.

Maddeyi oluşturan kuark, elektron gibi parçacıkları bozonlarla birleştirme konusunda ne diyebiliriz? Bunların da sicimlerin titreşiminden kaynaklandığı durumlar, eğer süpersimetri kabul edilirse, kurgulanabilir. Kısaca süpersimetrik sicim kuramları bütün parçacıkları birleştirebilir.

Dahası, sicim kuramı bütün bunları sadece tek bir yasa aracılığıyla yapar: Sicimler uzayzamanda hareket ederken en az alan kapsayacak yörüngeleri seçmek zorundadır. Parçacıkların birbirleriyle etkileşmelerini belirlemek için yeni yasalara da gerek yoktur: Sicimlerin etkileşimleri dolaysız olarak tek bir sicimin uyduğu en az alan yasasından kendiliğinden çıkar. Bütün parçacıklar ve kuvvetler sicimin değişik titreşimleri olarak betimlendiği için de bunların uyması gereken yasaları da kolaylıkla elde ederiz. Bu yaklaşımın basitliğindeki güzellik hepimizi en başlarda heyecanlandıran ve hâlâ da birçoğumuzun heyecanını korumasını sağlayan şeydir: Tek ve basit bir kurala uyan tek bir varlık.

Peki 1. Bölümdeki ilk problem, yani kuantum kütleçekim için neler söyleyebiliriz? Burada durum biraz karışıktır. İyi haberimiz şu: sicimin titreşimleri kütleçekimi ileten parçacığı da içerir ve kuvvet etkileşen parçacıların kütleleriyle orantılıdır. Acaba bu, kuantum kuramıyla kütleçekimin başarılı bir bir-

leştirilmesi midir? 1 ve 6. Bölümde de belirtmiş olduğum gibi, Einstein'ın kütleçekim kuramı bir ardalan geometrisine ihtiyaç duymaz. Bu da uzayzamanın geometrisinin tamamen dinamik olduğu anlamına gelir; hiçbir şey sabit değildir. Bir kuantum kütleçekim kuramı da aynı şekilde ardalandan bağımsız olmalıdır. Uzay ve zaman kendiliğinden ortaya çıkmalı ve sadece sicimlerin üzerinde hareket ettikleri sabit bir sahne olmamalıdır.

Sicim kuramı, şu anda ardalandan bağımsız bir çerçeve üzerinden ifade edilmiyor. Bir kuantum kütleçekim kuramı olarak bu, onun en başta gelen zayıflığıdır. Kuramı sabit, klasik ve zamanla değişmeyen bir ardalan geometrisinin üzerinde hareket eden sicimler ve diğer nesnelerden ibaret olarak anlıyoruz. Kısacası Einstein'ın uzayzamanın değişkenliği üzerine keşfi henüz sicim kuramına eklemlenebilmiş değil.

Az sayıda bir boyutlu bazı özel kuramlar dışında ardalana bağlı kuantum alan kuramlarının da titiz bir şekilde oluşturulamamış olduğunu düşünmek ilgi çekicidir. Bu kuramlar hep bir tür yaklaşıklık çerçevesi içinde tanımlıdır. Belki de sicim kuramının da bu tür özellikleri ardalan geometrisine bağlı olmasından kaynaklanıyordur. Bir iddia olarak tutarlı her kuantum alan kuramının ardalan geometrisinden bağımsız olması gerektiğini istemek çekicidir. Eğer bu doğruysa, kuantum kuramının genel görelilikle birleştirilmesi isteğe bağlılıktan ziyade bir zorunluluk olarak algılanabilir.

Genel görelilik kuramının sicim kuramından türetilebileceğine dair iddialar yok değildir. Bu dikkate almaya değer bir iddiadır ve hangi anlamlarda geçerli olduğunu anlamak da önemlidir çünkü nasıl olur da ardalandan bağımsız bir kuram ardalana bağımlı bir kuramdan çıkartılabilir? Nasıl olur da uzayzamanın geometrisinin dinamik ve değişken olduğu bir kuram sabit bir geometriye ihtiyaç duyan bir kuramın içinde yer alabilir?

İddianın mantığı şöyle işliyor: Bir uzayzaman geometrisini alırız ve bu geometride sicimlerin hareketinin ve etkileşimlerinin tutarlı bir kuantum mekaniksel betimlemesinin mümkün olup olmadığına bakarız. Bu yolu izlendiğimizde görürüz ki si-

cim kuramının tutarlı bir betimlemesi ancak –o da belirli bir yaklaşıklık seviyesinde– yüksek boyutlu genel görelilik denklemlerine uyan bir uzayzamanda mümkündür. Kısacası sicimin kuantum mekaniksel betimlemesinin tutarlı olması şartı altında genel görelilik denklemlerinin *belird*iğini söylemek bu açıdan anlamsız değildir. Sicim kuramcılarının, kuramın genel göreliliği içerdiği yönündeki iddialarına dayanak yaptıkları temel budur.

Ama bir ince fark da yok değildir bunun içinde. Yukarda bahsettiğim durum ancak yirmi altı boyutlu bozonik sicim kuramı için geçerlidir. Ama daha önce de ifade ettiğimiz gibi bu kuram takyon adını verdiğimiz bir kararsızlık içerir ve bu kabul edilebilir değildir. Kuramı kararlı kılmak için süpersimetri eklenebilir ve bu ardalan geometrisine fazladan tutarlılık koşulları getirir. Şu anda ayrıntılarıyla bildiğimiz süpersimetrik kuramlar sadece sabit bir ardalan geometrisinde tutarlıdır.[1] Kısacası bu durumlarda genel göreliliğin tamamının süpersimetrik sicim kuramından çıktığını söyleyemeyiz. Gerçekten de genel görelilik kuramının birçok çözümü türetilebilmektedir ve hatta bazı boyutların düz diğerlerinin kendi üstüne kıvrıldıkları tüm çözümler de dahil olmak üzere. Ama bunlar oldukça özel çözümlerdir. Genel göreliliğin çerçevesinde uzayzamanın geometrisi, Einstein'ın önsezisi uyarınca, genel olarak zamanla değişmelidir. Sadece zamanla değişmeyen, sabit çözümleri bulup bunların üzerinden genel göreliliğin sicim kuramından tamamen çıkarıldığını söylemek doğru değildir. Öte yandan bu durumda bir kütleçekim kuramına varıldığı bile söylenemez çünkü zamanda değişkenliğin etken olduğu birçok kütleçekimsel olgu gözlenmiştir.

Buna cevap olarak, bazı sicim kuramcıları zamanla değişen ardalan geometrilerinde de tutarlı sicim kuranlarının var oldu-

---

[1] Teknik dille anlatmak istersek, süpersimetri uzayzaman geometrisinde zamansal ya da ışıksal bir Killing alanı olmasını gerektirir. Bu, zaman yönünde bir simetrinin varlığı anlamına gelir, çünkü –yine teknik bir dille anlatırsak– süpersimetri cebiri Hamilton denklemi üzerinde kapalıdır. Kısacası süpersimetri bir Killing spinorü gerektirir bu da zamansal ya da ışıksal bir Killing vektörünün varlığı anlamına gelir.

ğunu ama bunları araştırmanın son derece zor olduğunu söylüyorlar. Bu kuramlar süpersimetrik olamazlar ve benim bilgime göre, bu tür kuramların nasıl kurulabileceğine dair genel bir çerçeve mevcut değil. Bu tür kuramların varlığı üzerine elimizde iki tür kanıt var. Birincisi takyonu kuram dışı bırakmak ve dolayısıyla kuramı tutarlı kılmak için gereken şartları bozmadan zamanla ancak pek az değişen geometriler kurgulanabileceği üzerine fikirler mevcut. Fikir makul gözükse de ayrıntılı bir yapı olmadan karar vermek zor. İkincisi bazı özel durumlar ayrıntılı olarak çalışılmış durumda fakat bunların en başarılı olanı zaman yönünde gizli bir simetriye sahip ve onu dışarda tutmalıyız. Diğerleriyse ya yine kararsızlık sorunlarıyla karşı karşıya ya da sadece klasik seviyede –kuantum kuramı ihmal edilerek– çalışılmış durumda: Yani var olup olmadıkları yönünde nihai bir bilgi yok. Bazı diğer kuramlardaysa geometri sicim kuramının temel ölçeği aracılığıyla zamanda çok hızlı bir değişme içinde olmak zorunda kalıyor.

Sicim kuramının zamanla değişen bir ardalan üzerinde genel olarak nasıl kurgulanabileceğinin ayrıntılı bir çerçevesi olmadan ya da bir öte-kuramın varlığını kabul etmek zorunda kalmadan sicim kuramının varlığı üzerine ikna edici bir fikrin yokluğunda genel göreliliğin sicim kuramında türetilebileceğini şu anda söylemek mümkün değil. Bu şu anda, ancak ilerde yapılacak çalışmalarla karara bağlanabilecek, ucu açık bir sorun.

Yine de sicim kuramının açık kurgulanabildiği hallerde kuramın tutarlı bir şekilde kütleçekimi ve kuantum kavramını birleştirip birleştiremediğini sorabiliriz. Yani acaba en azından kütleçekim dalgaları ya da uzayzamanın geometrisini son derece hafif olarak etkileyen kuvvetleri açıklayabilir miyiz? Ve bunları kuantum kuramıyla tamamen uyumlu bir şekilde yapabilir miyiz?

Bu sorulara belirli bir yaklaşıklık seviyesinde olumlu cevaplar verilebilir. Şu anda bu yaklaşıklık seviyesinde birçok olumlu kanıt bulunmuş ve hiç karşı örnek çıkmamış olsa da ispatı bir sonraki yaklaşıklık seviyesine taşıma çabaları tam olarak başarılı olamadı. Şüphesiz ki, sicim kuramcıları genel olarak bunun

yapılabileceğine inanıyorlar. Öte yandan ispatın karşısında duran engeller oldukça ciddi. Bahsini ettiğimiz yaklaşıklık yöntemi, tedirgeme kuramı, fiziksel bir soruya sonsuz sayıda terim içeren bir toplam şeklinde cevaplar üretir. Başlardaki ilk terimler boyunca serinin bir sonraki seviyesinde eklenen terimler bir öncekilerden küçüktür. Bu yüzden de cevap birkaç terim hesaplanarak yaklaşık olarak bulunabilir. Sicim ya da kuantum alan kuramlarında kullanılan yöntem genel olarak budur. Demek ki, kuramın sonlu olduğunu ispatlamak için hesaplanabilecek tüm sonuz sayıdaki terimin değerlerinin sonlu sayılar verdiğini göstermek gerekir.

Şu andaki durum şöyle: İlk terim aşikâr olarak sonlu ama bu ilk terim zaten sadece klasik fizik içeriyor; kuantum fiziği etkilerini değil. İkinci terimin, yani sonsuz olmasından korktuğumuz ilk terimin kolayca sonlu olduğu gösterilebilir. Üçüncü terimin sonlu olduğunun tam bir ispatı UCLA'dan Eric D'Hoker ve Columbia'dan Duong H. Phong'un uzun yıllar süren kahramanca çabalarıyla ancak 2001 yılında tamamlanabildi.[2] O zamandan beridir de dördüncü terim üzerinde çalışıyorlar. Bu terim hakkında oldukça bilgi sahibi oldular ama sonlu olduğuna dair bir ispata henüz ulaşamadılar. Kalan sonsuz sayıdaki terimlerin her birinin sonlu sayılar olduğunu ispatlayıp ispatlayamayacaklarınıysa ilerde göreceğiz. İspatın önündeki sorunların bir kısmı hesabı yapmak için kullandıkları yöntemin ikinci terimden sonra netliğini kaybetmeye başlamasından kaynaklanıyor. Kısacası kuramı tanımlamanın doğru yolunu bulmadan ispata devam edemeyecekler gibi duruyor.

Bu nasıl olabiliyor? En başta sicim kuramının çok basit bir yasaya dayandığını göstermemiş miydim? Buradaki sorun şu: Evet yasa basit ama ancak yirmi altı boyutlu ilk kurama uygulandığında. Süpersimetri eklendiğinde yasa oldukça karmaşıklaşıyor.

Bazı diğer olumlu sonuçlar yok değil. Örneğin toplamdaki bazı terimlerde yer alabileceği düşünülen bazı sonsuzluk tiple-

---

2 E. D'Hoker and D.H. Phong, Phys. Lett. B 529: 241-55 (2002).

rinin yasaklı olması gibi. Bu konuda güçlü bir ispat 1992 yılında Stanley Mandelstam tarafından yayımlanmıştı. Yakınlarda, Sao Paulo'da çalışan Amerikalı bir fizikçi, Nathan Berkovits bu konuda oldukça kayda değer ilerlemeler gerçekleştirdi. Berkovits süpersimetrik sicim kuramının yeni bir formülasyonunu buldu ve tedirgeme kuramında yer alan her terim için geçerli olacak ve ancak bir iki yan kabulle kısıtlanan, bir ispata erişti. Yaptığı bu yan kabullerin durumu henüz çok açık değil ama yine de tam bir ispata doğru büyük bir adım atmış oldu. Kuramın sonlu olup olmadığı her sicim kuramcısının kafaya taktığı bir soru değil ve bu konu üzerine hâlâ inatla çalışanlara büyük bir saygı besliyorum.

Bu sonluluk sorunu hakkında kaygı uyandıran bir şey daha var. Nihayetinde, her terimin sonlu olduğu gösterilebilse bile asıl cevap bütün bu sonsuz sayıdaki terimlerin toplanmasıyla elde edilmelidir ve bu pekâlâ sonsuz olabilir. Bu toplam henüz hesaplanmamış olsa da sonucun sonsuz olacağına ilişkin, burada bahsini etmek için çok teknik ayrıntıya sahip, emareler var. Bunu şöyle de ifade edebiliriz: yaklaşıklık metodu gerçeğe oldukça yaklaşıp sonra ondan ayrıksıyor. Bu kuantum alan kuramlarının da temel bir özelliği ve genel olarak söylediği şu: Tedirgeme kuramıyla yapılan yaklaşıklıklar kuramı tanımlamak için kullanılamazlar.

Şu andaki kanıtlara bakarak şunu söyleyebiliriz: Tersine bir kanıt elimizde olmadığından, sicim kuramının sonlu olup olmadığını bilmiyoruz. Eldeki kanıtlar maalesef hem olumlu hem de olumsuz okumalara müsait: Uzun süren ve sadece birkaç kişi tarafından yürütülen zor çalışmalar sonucunda elimizde birçok kısmi ispat var ama bu durum, kuramın sonluluğu üzerine olan savların doğruluğu ya da bazı şeyleri kaçırdığımızın göstergeleri olarak algılanabilir. Bu kadar becerikli fizikçiler deneyip başarısız oldularsa ve her sonuç hep kısmi olarak kaldıysa bu durum belki de ispatlamaya çalıştıkları savın yanlış olmasından kaynaklanıyordur. Matematik alanının ispat mekanizmasını icat etmesi ve bunu inancın karşısına çıkarması insan sezgilerinin çoğu zaman yanlış sonuçlara ulaşmasından da kaynakla-

nıyor. Genel olarak kabul görmüş bazı savların yanlış çıktığına çok tanık olduk. Burada önemli olan sadece matematiksel keskinlik değil. Fizikçiler çoğu zaman matematikçi kuzenleri kadar keskinlik hayranı değildir. Fizikte kuramsal olarak genel kabul görmüş ama henüz ispatlanamamış çok fikir vardır. Ama buradaki durum bu kadar basit değil: Sicim kuramının sonluluğu hakkında öne sürülen fikirlerde bir fizikçiyi bile tatmin edecek seviyede keskinlik yok.

Durum bu olunca, süpersimetrik sicim kuramının sonlu olup olmayacağı hakkında bir görüşüm yok. Ama eğer bir kuram için bu kadar merkezi önemde bulunan bir kavramın doğru olduğu düşünülüyorsa bu yönde bir ispat üzerine de çalışmalar yapılmalıdır. Doğrusu, bazı ispatlanmamış savların nesiller boyu bilimciler tarafından doğru kabul edildiği durumlar olmuştur, fakat bu örneklerde ispatı zorlaştırmış olan hep anahtar bir fikrin eksikliği olmuştur. Savın nihai gerçeklik durumu herkesin beklemiş olduğu yönde olsa da ispat birçok sava yol açan matematiksel alan üzerinde daha keskin bir bilgiye sahip olmamıza yol açmıştır.

Sicim kuramının sonluluğunun neden bu kadar tartışmalı olduğuna ilerde geri döneceğiz. Şu anda sadece bunun tekil bir örnek oluşturmadığını belirtmekle yetineceğiz. Sicim kuramının iki devrimine güç veren anahtar savlardan çoğu henüz ispatlanmamış durumdadır. S-ikiliği ve Maldacena savı da bunların içindedir. İki durumda da değişik sicim kuramları arasında bir ilişki olduğuna ilişkin fazlaca olumlu kanıt vardır. Kuramlar arası keskin eşdeğerlikler olmasa da bunlar önemli fikirler ve sonuçlardır. Ama sonuçta; sav, kanıt ve ispat arasında bir ayrım yapmak zorundayız.

Bazılarına göre Maldacena savı, en azından bazı geometrilerde, sicim kuramının iyi bir kütleçekim kuramına yol açtığının bağımsız bir ispatıdır. İddialarına göre, bazı özel durumlarda sicim kuramı üç boyutlu bilindik ayar kuramlarına tamamen eşdeğerdir ve herhangi bir yaklaşıklık seviyesinde güvenilir ve iyi bir kuantum kütleçekim kuramını içerirler.

Bu önermedeki sorun, daha önce belirttiğimiz gibi, Maldacena savının güçlü halinin henüz ispatlanmamış olmasıdır.

Maldacena'nın on boyutlu süpersimetrik sicim kuramı ve en süper ayar kuramı arasında bir ilişki olduğuna dair etkileyici sonuçlar mevcuttur, ama şu anda gerçek bir ispat burada da yok. Kanıtlar basitçe, tam olarak ifade edilememiş iki kuram arasında kısmi bir benzerlik olması olarak bile algılanabilir (Aslında, ayar kuramı üzerinde yeni bir yaklaşıklık üzerinden yapılan ilerlemeler mevcut ve bu da kuramın ifade edilmesi üzerinde bir ilerlemedir. Bahsini ettiğimiz yaklaşıma, *kristal ayar kuramı* deniyor). Eldeki kanıtlar maalesef, tam eşdeğerlik öneren Maldacena savının güçlü halinin tamamen yanlış olmasıyla, tutarlı görünüyor. Bu yanlışlık –eğer doğruysa– ya kuramların gerçekte farklı olmalarıyla ya da, birinin ya da ikisinin beraber aslında var olamayacak tutarsız kuramlar olmalarıyla açıklanabilir. Öte yandan eğer Maldacena savının güçlü hali doğruysa –ki bu durumda elimizde bulunan sonuçlarla tutarlı olacaktır– sicim kuramı, negatif kozmolojik sabite sahip ardalan uzayzamanlarında iyi kuantum kütleçekim kuramları içerecektir. Dahası bu kuramların ardalana bağlılıkları kısmi kalacaktır çünkü Maldacena savına göre üç boyutlu bir uzaydaki fizik dokuz boyutlu bir uzay tanımlayacaktır.

Sicim kuramının kütleçekim ve kuantum kuramlarını birleştireceğine dair bazı diğer sonuçlar da var. Bunlardan en güçlü kanıtları sunan kara delikler ve zarlar üzerine olanlardır. Bu sonuçlar gerçekten de olağanüstüler ama 9. Bölümde bahsettiğimiz gibi fazla derine inemiyorlar. Sonuçlar kara deliklerin çok özel bazı hallerine kısıtlanmış durumda ve yakında genel kara deliklere uygulanabilecekleri üzerine pek ümit yok: Bu sonuçlar özel kara deliklerin bazı fazladan simetrilerine dayanıyor olabilir. Son olarak sicim kuramı kara deliklerin kuantum geometrilerinin tam bir ifadesini içermiyor. Bahsini ettiğimiz sonuçlar kara deliklerle bazı ortak özellikleri olan zarlar üzerinden elde ediliyor ama bu zarlar bilindik düz uzayzamanda yer alıyor. Ve sonuçları elde edebilmek için uygulanan yaklaşımlarda kolaylık olması için evrensel kütleçekim etkisi yok kabul ediliyor.

Bazıları, kütleçekim etkileri ihmal edilmediğinde, bu azami zarların kara deliklere dönüşeceğini iddia ediyor. Ama bu id-

diayı sicim kuramı içerisine yerleştirmenin bir yolu yok. Bunu yapabilmek için sicim kuramının geometriyi dinamik olarak ele alması gerekirdi ama elimizde henüz bu tür bir kuram olmadığını söylemiştik.

Yukarda bahsettiğimiz sonuçlar elde edildikten sonra gerçek kara delikleri sicim kuramı içerisinde nasıl kurgulayabileceğimize dair yaratıcı önerilerde bulunulmadı değil. Ama bütün bu önerilerin ortak bir sorunu var: Ne zaman süpersimetrik hesaplar yapmamızı sağlayan bu çok özel kara delikler yerine sıradan olanlarıyla uğraşmaya başlarsak sonuçlar kesinlikten uzak oluyor. Sıradan kara delikler üzerine hesap yapmaya başladığımızda ya da tekillik etrafında neler olduğunu sorduğumuzda kaçınılmaz olarak uzayzamanın dinamik olduğu bir durumla karşı karşıya kalıyoruz. Bu tür durumlarda ne süpersimetri ne de onun aracılığıyla elde ettiğimiz harika hesap yöntemleri çalışabilir. Sonuçta yine sicim kuramı üzerine olan çalışmaların çoğunu etkileyen bir ikilemle yüzleşmek zorundayız: Bazı özel durumlar için harika sonuçlar elde ediyoruz ama bu sonuçların kuramın genelinde de geçerli olup olmadığını bilemiyoruz.

Bu kısıtlamaları göz önüne aldığımızda, sicim kuramının Jacob Bekenstein ve Stephen Hawking'in çalışmalarıyla bulunan kara delik entropisi, sıcaklığı ve bilgi kaybı sorunlarını çözebildiğini söyleyebilir miyiz? Ancak şu cevabı verecek durumdayız: Bu yönde bazı cesaretlendirici sonuçlar olmasına rağmen sicim kuramı bu sorunları çözdüğünü iddia edecek durumda değildir. Azami ya da neredeyse azami özellikteki kara delikleri modellemek için kullanılan zar sistemleri bu tür kara deliklerin tüm termodinamik özelliklerini gerçekten de içeriyor. Ama bunlar kara delikler değil, yüksek seviyede süpersimetri içerme koşulu taşıyan ve kara deliklerin ısısal özelliklerine sahip olan sistemler. Sonuçlar kara deliklerin kuantum geometrisini betimlemekten uzak. Kısacası bunlar, Bekenstein ve Hawking'in sonuçlarını, kara deliklerin mikroskobik bir kuramından türetmiyor. Dahası, daha önce belirttiğimiz gibi, sonuçlar sadece çok özel kara deliklere uygulanabiliyor; genel, fiziksel önemi daha fazla olanlara değil.

Toparlamak gerekirse: Şu andaki sonuçlara baktığımızda, sicim kuramının kuantum kütleçekim kuramı problemini tamamen çözdüğünü söyleyemeyiz. Kanıtlar karışık. Bazı yaklaşımlarda sicim kuramı kuantum fikri ile kütleçekim kuramını tutarlı bir şekilde birleştirip, anlamlı ve sonlu cevaplar veriyormuş gibi duruyor. Ama kuramın genel olarak böyle bir özelliğe sahip olacağını düşünmek zor. Maldacena savına benzeyebilecek bir özelliği destekleyen bazı sonuçlar var ama savın tamamı üzerine bir ispat yok ve maalesef sadece bu ispat üzerinden sicim kuramının iyi bir kuantum kütleçekim kuramı olduğunu çıkarabiliriz. Kara delikler üzerine olan sonuçlar etkileyici ama ancak sicim kuramının modelleyebildiği, çok özel –pek de tipik olmayan– kara delikler için. Bunların ötesinde, sicim kuramının ardalandan bağımsız olamaması sorunu var ve bu sınırlama içerisinde dahi kuram sadece dinamik olmayan, geometrisi zamanla değişmeyen, uzayzamanları ifade edebiliyor.

Söyleyebileceğimiz ise şu: Yukardaki sınırlamalar içerisinden bakarsak, sicim kuramının kuantum fikri ile kütleçekim kuramını tutarlı bir şekilde birleştiren bir kuramın varlığına işaret ettiği üzerine bazı kanıtlar var. Ama sicim kuramının kendisi bu tutarlı birleşmeyi sağlayan kuram mıdır? Bahsettiğimiz sorunlara çözüm bulunamaması durumunda bu pek de olası gözükmüyor.

Birinci Bölümde bahsettiğimiz problemler listesine geri dönelim. Dördüncü problem, parçacık fiziğinin standart modelinin parametrelerini açıklayabilmekti. Sicim kuramının bunda başarısız olduğu açık ve başarılı olabileceğini de düşünmek için pek sebep yok. 10. Bölümde tartıştığımız gibi kanıtlar o kadar çok tutarlı sicim kuramı olduğunu söylüyor ve bu durumda bunlar, hiç olmasa bile ancak bir iki öngörüde bulunulabilir.

Beşinci problemi, kara madde, kara enerji ve kozmolojideki sabitlerin değerlerini açıklayabilmek olarak tanımlamıştık. Burada da durum pek parlak değil. Sicim kuramları genel olarak şu ana kadar gözlenmiş olanlardan çok daha fazla parçacık tipi ve kuvvet içerdiği için kara madde ve kara enerji için bol bol aday öneriyor. Bu fazladan parçacıklardan bazıları kara madde kuvvetlerden bazılarıysa kara enerji olabilir. Ama sicim kuramı

içerdiği fazladan öğelerin hangilerinin kara madde ya da kara enerji olduğu hakkında *belirli* hiçbir öngörüde bulunmuyor.

Örneğin birçok kara madde adayı arasından birine bakalım: Bu parçacığa aksiyon deniyor. Birçok sicim kuramı aksiyon içerir ve ilk bakışta bu iyi bir şey. Ama öte yandan aksiyon içeren çoğu sicim kuramı standart kozmolojik modelle çatışan özelliklere sahiptir. Bu da kötü bir şey. Ama diğer yandan o kadar çok sicim kuramı vardır ki bazıları gerçekten de standart kozmolojik modelle uyumlu aksiyonlar içerebilir. Hatta standart kozmolojik modelin bu konuda hatalı olduğu da ilerde keşfedilebilir. Bu durumda en azından şunu söyleyebiliriz: Eğer aksiyonlar kara maddeyse bu sicim kuramıyla tutarlıdır. Ama bunu söylemekle, sicim kuramının aksiyonun kara madde olduğunu öngördüğünü ya da kara madde gözlemleriyle kendisini yalanlayabileceğimiz bazı diğer öngörülerde bulunduğunu söylemek aynı şeyler değil.

Listemizde iki numaralı probleme de bakalım: *Kuantum mekaniğinin temelleri üzerine problemler*. Sicim kuramı bu sorunlar üzerine en ufak bir çözüm öneriyor mu? Cevap, hayır. Şu ana kadar sicim kuramı kuantum mekaniğinin temelleri üzerine olan problemler üzerine doğrudan hiçbir önermede bulunmadı.

İşin muhasebesini yapalım. Sicim kuramı, bahsini ettiğimiz beş ana problemden birini –kuvvetlerin ve parçacıkların birleştirilmesi– tamamen çözme potansiyeline sahip. Bu problemi çözmek zaten sicim kuramının temel motivasyonudur ve sunduğu yöntem hâlâ en etkileyici başarısıdır.

Sicim kuramının kuantum kütleçekim problemi üzerine bir çözüme işaret ettiğine dair emareler var fakat kendisini değil de daha derinlerde yatan ve kuantum kütleçekim kuramını çözebilecek bir başka kurama işaret ediyor gibi.

Şu anda sicim kuramı diğer üç problemimizin hiçbirini çözemiyor. Parçacık fiziğinin ve kozmolojinin standart kuramlarında yer alan sayıları açıklamaktan uzak. Kara madde ve/veya kara enerji için bir aday listesi de sunuyor ama bunlar hakkında herhangi bir açıklama ya da öngörü yapamıyor. Dahası sicim kuramı en büyük sorun üzerine de hiçbir şey söyleyemiyor: Kuantum kuramının anlamı nedir?

Bunlar dışında acaba sözünü edecek herhangi bir başarı var mı? Bir kuramın başarılarını deneyler ve gözlemler hakkında yaptığı öngörüler üzerinden de ölçeriz. Daha önce de söylemiş olduğumuz gibi sicim kuramı bu tür hiçbir öngörüde bulunamıyor. Gücü, bilinen parçacıkları ve kuvvetleri birleştirmesinden kaynaklanıyor. Örneğin evrensel kütleçekim kanununu bilmeseydik sicim kuramından bunu çıkarsayabilirdik. Bu hiç de azımsanacak bir başarı değil ama yeni bir deney için bir öngörü de değil. Öte yandan, bir deney tasarımlayarak ya da bir gözleme dayanarak kuramı yanlışlamak –yanlış olduğunu ispatlamak– da mümkün gözükmüyor.

Eğer sicim kuramı yeni öngörülerde bulunmuyorsa en azından elimizdeki verilerle ne kadar uyum içinde olduğunu sormalıyız. Burada durum biraz kendine has. Şu andaki bilgimiz kısıtlı olduğundan olası birçok sicim kuramından iki grup oluşturup bunları ayrı ayrı araştırmamız gerekiyor. Birinci grup kuramlar var olduğunu bildiklerimiz, ikinci grupsa var oldukları savlanan ama henüz inşa edilmemiş olanlardır.

Evrenin ivmelenerek genişlediğini gözlemlemiş olduğumuz için ikinci gruptaki kuramlara yoğunlaşmalıyız, çünkü sadece onlar bu bulguyla uyum içindeler. Ama bu kuramlarda sicimlerin nasıl hareket ettiklerini, birbirleriyle nasıl etkileştiklerini ve dahası olasılıkları nasıl hesaplayabileceğimizi bilmiyoruz. Dahası bu kuramların var olup olmadıklarını da gösteremiyoruz; elimizdeki kanıtlar sadece bazı gerekli ama yeterli olmaktan uzak özelliklere sahip ardalan geometrilerinde geçerli. Kısacası en iyi durumda bile eğer evrenimizi betimleyen bir sicim kuramı varsa, deneylerin sonuçları üzerine bir şeyler söyleyebilmek için yeni hesap teknikleri icat etmek zorundayız. Söylediğimiz gibi, bilinen sicim kuramları evren hakkında bildiğimiz her şeyle karşıtlık içindedir: Çoğu kırılmamış süpersimetriye sahiptir; diğerleri fermiyonların ve bozonların eşit kütleli çiftler halinde var olduğunu söyler ve hepsi yeni (ve henüz gözlenmemiş) sonsuz menzilli kuvvetler içerir. Bu durumda, yirmi yıl önce sicim kuramına yönelik umutların bugün karşılık bulduğunu söylemek zor.

En popüler olduğu 1985 yılında, bu yeni ve devrimci kuramı en ateşli şekilde savunanlardan biri o zaman Chicago'daki Enrico Fermi Enstitüsünde çalışan Daniel Friedan'dı. Yakınlarda yazdığı bir makalede şöyle diyor:

> Olası birçok ardalan geometrisi içermesi yüzünden sicim kuramı bir fiziksel kuram olarak başarısızlığa uğramıştır... Sicim kuramının uzatmalı sorunlarından biri uzun mesafeler fiziği üzerine henüz hiçbir şey söyleyememiş olmasıdır. Kuram uzun mesafeler fiziği üzerine hiçbir şey söyleyemez de. Sicim kuramı makroskobik uzayzamanın parçacık listesini, etkileşme katsayılarını, geometrisini ve boyut sayısını belirlemekten acizdir. Sicim kuramı gerçek dünyanın bilinen özellikleri üzerine hiçbir açıklama getiremediği gibi hiçbir öngörüde de bulunamaz. Sicim kuramının güvenilirliğini ispatlamak bir yana bunu değerlendirmek bile mümkün değildir. Fiziksel bir kuram adayı olarak sicim kuramının hiçbir inandırıcılığı yoktur.[3]

Yine de birçok sicim kuramcısı işlerine devam ediyor. Ama kuramın bahsettiğimiz bütün sorunlarına rağmen nasıl oluyor da çok sayıda parlak bilimci konu üzerinde hâlâ çalışabiliyor?

Sicim kuramcılarının tutku duyduğu unsurlardan biri kuramın güzel ya da "zarif" olmasıdır. Bu estetik yargı hakkında insanlar şüphesiz ki anlaşmazlığa varabilir ama bunu nasıl değerlendirebileceğimizi bilmiyorum. Kuramın başarılarının nesnel bir tespitinde böyle estetik yargılar rol alamazlar. Birinci Kısımda görmüş olduğumuz gibi sürüyle güzel kuram doğayla tamamen uyumsuz çıkmıştır.

Bazı genç sicim kuramcıları kuramın başarısız olması durumunda bile diğer alanlardaki algılarımızı ve anlayışlarımızı ileri götürecek yan ürünler ürettiğini söylüyorlar; özel olarak Dokuzuncu Bölümde gördüğümüz Maldacena savına gönderme yapıyorlar. Savın doğruluğu süpersimetri içeren kuramlar için önemlidir ama eğer standart model için faydalı olacaksa o zaman süpersimetrinin yokluğunda da doğru olmalıdır. Bu tür durumlarda –süpersimetrisiz ayar kuramlarında– diğer bazı teknikler

---

3 D. Friedan, "A Tentative Theory of Large Distance Physics," hep-th/0204131.

var ama sorun Maldacena savını bunlarla nasıl karşılaştırabileceğimizi ve savın bunlardan daha iyi olup olmadığını anlamak. Henüz bir karar verebilecek durumda değiliz. İyi bir sınama olarak sadece iki uzay boyutuna sahip ayar kuramlarına bakabiliriz, bu sistemler süpersimetriye ya da sicim kuramına hiçbir ihtiyaç duymadan yakınlarda çözüldü.[4] Öte yandan ayar kuramlarını çalışmak için üçüncü bir yol daha var: Bilgisayar hesapları. Bu tür hesapların tutarlı ve güvenilir olduklarına inanıyoruz ve buradan elde edilen sonuçları diğer yöntemleri birbirleriyle karşılaştırmakta kullanabilir ve Maldacena savının bahsettiğimiz diğer yöntemlerden daha başarılı olmadığını gösterebiliriz.[5]

Öte yandan bazı kuramcılar sicim kuramını çalışma sebebi olarak kuramın matematiksel ilerlemeler sağlamasını gösteriyorlar. Olası ilerlemelerden biri sicim kuramlarında fazladan boyutlara örnek olarak çalışılan altı boyutlu uzayların matematiği üzerinedir. Bazı durumlarda sicim kuramı kullanılarak bu uzayların şaşırtıcı ve beklenmedik özelliklerini öngörmek mümkün olmuştur. Bu faydalıdır ama tam olarak ne olduğu hakkında açık olmamız gerekir: Fizikle bir bağ yoktur. İlerleme sadece matematiksel düzlemde gerçekleşmiştir: Sicim kuramı değişik matematiksel yapıları birbiriyle ilintilendiren savlar öne sürmüştür. Sicim kuramları bu altı boyutlu uzayların yapılarının sicimlerin zamanda taradığı iki boyutlu daha basit uzayların özellikleri üzerinden çalışılabileceğini göstermiştir. Bu iki boyutlu yapıya *konformal alan* diyoruz. Öne sürülen şey, bazı altı boyutlu geometrilerin özelliklerinin konformal alanların yapılarında da var olduğudur. Bu da altı boyutlu uzayların aralarında bazı ilgi çekici ilişkiler olduğunu söyler. Gerçekten de burada sicim kuramının harika bir yan ürününü görüyoruz ve bunun faydalı olması için sicim kuramının doğanın bir kuramı olmasına gerek de yok. Dahası konformal alanlar, katı hal fiziği ve ilmek kuantum kütleçekim gibi diğer birçok konu için de önemlidir: Kısacası, sadece sicim kuramıyla ilgili oldukları söylenemez.

---

[4] D. Karabali, C. Kim and V.P. Nair, Phys. Lett. B 434: 103-9 (1998). 3+1 bir boyutlu uygulaması için *bkz.* L. Freidel, hep-th/0604185.

[5] Çok yakınlarda bu yeni teknikler üç uzay boyutunda QCD'ye uygulandı.

Sicim kuramının matematiksel ilerlemelere yol açtığı başka durumlar da var. Oldukça güzel bir örnek olarak, *topolojik sicim kuramı* olarak adlandırılan sicim kuramının basit bir modelinin yüksek boyutlu uzayların topolojik yapıları hakkında yeni anlayışlara yol açmasını söyleyebiliriz. Fakat bu tek başına sicim kuramının doğada geçerli olacağına dair bir kanıt oluşturamaz, çünkü topolojik sicim kuramları sicim kuramlarının oldukça basitleştirilmiş bir hali olup parçacıkları ve kuvvetleri birleştiremez.

Genel olarak sicim kuramının matematiksel ilerlemelere yol açmasını onun doğa için de geçerli bir kuram olacağı iddiasına kanıt olarak alamayız. Birçok yanlış kuram matematikte birçok ilerlemeye yol açmıştır. Ptolemaios'un gökcisimlerinin hareketini betimleyen episikl kuramı, sayılar kuramı ve geometrinin ilerlemesine yol açabilirdi ama bu onu göksel cisimlerin hareketinin doğru kuramı yapmaz. Newton fiziği matematiğin birçok ana alanında ilerlemelere yol açtı ve hâlâ da açıyor ama bu durum Newton fiziğini deneylerle çeliştiği zaman kurtaramadı. Harika matematiğe dayanan ama hiçbir başarı gösterememiş ve hiç kabul görmemiş çok kuram vardır: Kepler'in gezegenler üzerine kurduğu ilk kuram buna en önemli örneği oluşturur. Kısacası bazı güzel matematiksel savlara yol açmış bir araştırma programını doğa üzerine öngörüler yapamadığı ve açıkça belirtilebilen ilkelere dayanmadığı sürece kurtarmak mümkün değildir.

Sicim kuramının yüz yüze geldiği sorunlar genel olarak bütün bu birleştirme çabasının köklerinde yatıyor. Bu kitabın ilk bölümlerinde geçmişteki birleştirme kuramlarının karşılaştığı devasa sorunları belirlemiştik: bu sorunlar nihayetinde bu erken kuramların terk edilmesine yol açmıştı. Bu kuramlardan bazıları birleştirmeyi gözlenenden daha fazla sayıda uzaysal boyutun varlığını kabul ederek yapmaya çalışır. Fazladan boyutların geometrisi hiç de ümit edildiği gibi biricik değil ve bu kuramlar karasız çözümlerle dolu. Daha önceki bölümlerde görmüş olduğumuz gibi, bunun en temel sebebi şu: Birleştirmenin bedelleri vardır ve genelde birçok gözlenmemiş olgu içerirler. Başarılı olmuş ve iyi bir kurama yol açmış durumlar-

da –Maxwell'in elektromanyetik kuramı, Weinberg ve Salam'ın zayıf etkileşmeler ve elektromanyetik kuramları birleştiren kuramı, özel ve genel görelilik gibi– bu bahsi geçen yeni olgular deneylerle hemen gözlenmiştir. Bu kuramlar birleştirme kavramının az sayıdaki zaferlerindendir. Diğer birleştirme kuramlarında bahsi geçen yeni olgular çabucak gözlenmemiştir; hatta bazıları deneylerle çelişki içindedir. Bir kuramcı bu durumda birleştirmenin sonuçlarını kutlamaktan ziyade bunları zekice gizlemeye çalışmalıdır. Bu tür bir saklama çabasının nihayetinde iyi bir kurama yol açtığını daha görmedim; eninde sonunda niyet edilmiş birleştirme yöntemi terk edilmiştir.

Süpersimetri ve fazladan boyutlar içeren kuramlar bu birleştirme fikirlerinin sonuçlarının iyi gizlenebilmesi için olağanüstü çabalar gerektirmiştir. Bilinen parçacıklardan hiçbiri ikili süpersimetriyle birbirlerine bağlı değildir; bunun yerine bilinen her parçacığın henüz bilinmeyen bir ortağı vardır ve bu kuramların çok sayıdaki değişkenlerini ayarlayarak kuramı bu yeni parçacıkların henüz gözlenmemiş olmasıyla uyumlu hale getirmek gerekir. Fazladan boyutlar durumundaysa kuramın hemen her çözümü deneylerle çelişkilidir. Bildiğimiz dünyaya benzer sonuçlar veren çözümlerse evrenimize tamamen yabancı gözüken çok geniş bir çözüm denizinde yer alan kararsız adacıklar gibidir.[6]

Sicim kuramı kendisinden önceki süpersimetrik ve fazladan boyut kuramlarının içine düştüğü sorunları bertaraf edebilir mi? Bu pek mümkün gözükmüyor ve aslında sebebi sadece şu bile olabilir: Sicim kuramında eski Kaluza-Klein ve süpersimetri kuramlarındakinden çok daha fazla gizlenmesi –gözlenmemiş

---

6 2005 basımı *The Road To Reality*'de [*Gerçeğin Yolları*, Alfa Yayınları] Roger Penrose fazladan boyutların sarıldığı çoğu tıkız uzayın çabucak tekilliklere çökeceğini savunuyor. Bunu göstermek için, sicim kuramlarında yer alan ardalan geometrilerine kendisinin ve Hawking'in bulmuş olduğu teoremleri uygulayıp genel göreliliğin kozmolojik çözümlerde tekilliklere yol açacağını gösteriyor. Bildiğim kadarıyla bu fikri hâlâ geçerli. Bulduğu sonuçlar şüphesiz ki sadece klasik seviyede geçerli ama bu yaklaşım zaten sicim kuramı ardalan geometrilerinin kozmolojik çözümlerini çalışmak için kullanılan yaklaşım. Kısacası Penrose'un fikirleri sicim kuramcılarını bir sicim kuramları manzarasının varlığına inandıran fikirler kadar inandırıcı.

olmakla tutarlı kılınması– gereken yeni olgu var. Fazladan boyutların kararlı hale getirilmesi için Stanford grubunun önerdiği yöntem işleyebilir. Ama bunun bedeli çok yüksek: öne sürülen çözüm manzarasının çok daha büyümesini gerektiriyor. Kısacası Kaluza-Klein kuramlarının sonunu getiren sorunlardan kurtulmanın bedeli sicim kuramcılarının en başlarda reddettikleri bir bakış açısını zorluyor: Son derece fazla sayıdaki olası sicim kuramlarının her birini eşdeğer şekilde ciddiye almak. Bu da en başlarda herkesin ortak dileği olan biricik bir birleştirme kuramından ve bu tür bir kuramın sahip olacağı öngörü gücünden vazgeçmek anlamına geliyor.

11. Bölümde, Susskind ve Weinberg'in bu çok sayıda kuram manzarasının belki de fiziğin ilerlemesi için gerekli olduğu yönündeki savlarını tartışmış ve bu iddiaları ikna edici bulmamıştık. O zaman tam olarak ne durumdayız? Yakınlarda gerçekleşen bir röportajda Susskind seçeneklerimiz hakkında şunları söylüyor: Ya kuramlar manzarasını kabul edip fiziğin öngörü yeteneğinin seyrelmesine izin vereceğiz ya da standart modelin parametrelerini anlamada bilimsel yöntemi bırakıp akıllı tasarımı (AT) kullanacağız:

> Eğer bir şekilde kuramlar manzarasının gerek matematiksel sebeplerle gerek deneylerle çeliştiği için tutarsız olduğu ortaya çıkarsa eminim ki fizikçiler dünyanın doğal bir açıklamasını bulmak için araştırmalarına devam edecekler. Fakat itiraf etmeliyim ki, bu tür bir tutarsızlık ortaya çıktığında kendimizi oldukça garip bir durumda bulacağız. Doğada gerçekleşen ince ayarları açıklamakta AT yandaşlarına karşı zor durumda kalacağız. Kuramlar manzarasından biricik bir kuramın sıyrılmasını ummak AT kadar inanç temellidir bile diyebiliriz.[7]

Ama bu yanlış bir seçenek. Kitabın ileriki bölümlerinde göreceğimiz gibi, bahsettiğimiz beş probleme kendine has cevapları olan ve hızla gelişen kuramlar var. Sicim kuramını terk etmek bilimi terk etmek değildir; sadece bir zamanlar revaçta olan bir

---

[7] Amanda Gefter tarafından alıntılandı. "Is String Theory in Trouble?", *New Scientist*, 17 Aralık, 2005.

kuramın kendinden beklenenleri gerçekleştiremediği durumda o yönü bırakıp hâlâ başarı şansı bulunan diğer yaklaşımları öne çıkarmak demektir.

Sicim kuramı, ilerde bulunacak bir kuram içinde bazı parçalarının ya da kendine benzer bir şeylerin olabileceğini umabileceğimiz kadar belirli noktalarda başarı göstermiş bir kuram. Ama elimizde bazı şeylerin yanlış gitmiş olduğunu düşündürecek kadar etkileyici kanıtlar da var. 1930'lardan beri açık olan şu: Evrensel kütleçekimin kuantum kuramı ardalan geometrisinden bağımsız olmalıdır. Sicim kuramı çerçevesinde bu yönde çok az gelişme var. Aynı zamanda, birleşik ve tek bir kuram arayışı bizi sonsuz sayıda kuramın var olduğu savına götürmüştür. Bunlardan hiçbirinin de kapsamlı bir formülasyonu yoktur. Öte yandan eğer bu sav tutarlıysa sonsuz sayıda olası evrenden bahsetmektedir. Dahası azıcık da olsa üzerinde çalışabildiğimiz sicim kuramları gözlemlerle çelişki içindeler. Etkileyici savlara yol açmış olsa da, sicim kuramının kuramsal fiziğin önemli sorularına çözümler önereceğine dair elimizde kanıt yok. Sicim kuramının bu savlarına inanmayı seçenler, sadece gözlemsel kanıtlara inananlardan çok farklı bir entelektüel grup oluşturuyorlar. Bu konuda bu kadar farklı görüşlerin varlığı, bu kadar meşru bir bilimde yer alınca bazı şeyleri kaçırıyor olabileceğimizi düşündürüyor.

Peki, sicim kuramı üzerinde çalışmalara devam etmeli mi, yoksa bazılarının önerdiği gibi bir başarısızlık olarak mı algılanmalı? Ümitlerin boşa çıkması ve birçok anahtar savın hâlâ kanıtlanmamış olması sicim kuramını terk etmek için pekâlâ sebep olarak gösterilebilir. Fakat bunlar araştırmayı, genel olarak, tamamen bırakmak için geçerli sebepler değildir.

Ya gelecekte birisi parçacık fiziğinin standart modelini kuşkusuz ve tek bir şekilde içeren, ardalandan bağımsız ve süpersimetrik olmayan ve sadece üç uzay boyutuna ihtiyaç duyan bir sicim kuramı kurgularsa. Az da olsa bu ihtimali yadsımak bilimsel olmaz; bu bir olasılık olarak ele alınmalıdır. Genel olarak bildiğimiz gibi, araştırma alanlarının sayısının yüksek olması bilim için sağlıklı bir ortam yaratır. Bu noktaya ilerde geri döneceğiz.

Kısacası sicim kuramı üzerinde daha fazla araştırma yapılması gereken bir yön. Fakat kuramsal fiziğin baskın paradigması olmaya devam etmeli midir? Kuramsal fiziğin temel problemlerini çözmek için ayrılan kaynakların çoğu sicim kuramı araştırmalarına mı ayrılmalıdır? Diğer yaklaşımlar sicim kuramı adına açlığa mı mahkûm olmalılar? Şu anda olduğu gibi prestijli akademik pozisyonların ve araştırma olanaklarının çoğuna sicim kuramcıları mı seçilmeliler? İnanıyorum ki yukardaki bütün soruların cevabı olumsuz olmalıdır. Sicim kuramı, hiçbir seviyede, bütün yumurtaları aynı sepete koymamızı gerektirecek başarılar göstermemiştir.

Ya şu anda üzerinde çalışmaya değer başka yaklaşımlar yoksa? Bazı sicim kuramcıları sicim kuramı üzerinde çalışmanın yapılacak tek şey olduğunu iddia ediyorlar; onlara göre oynanan tek oyun bu. Açıkçası bu doğru olsaydı bile fizikçilerin ve matematikçilerin olası seçenekleri araştırması ve bu yönde ısrarla teşvik edilmeleri yine de gerekirdi diye düşünüyorum. Şu anda seçenek yok mu? O zaman icat edelim. Sicim kuramının yanlışlanabilir önermelerde bulunması nasıl olsa yakın gelecekte pek mümkün gözükmüyor; aceleye gerek yok. İnsanları kuramsal fiziğin beş temel sorununu çözmek için daha kısa yollar bulmaya teşvik edelim.

Açıkçası bu sorunlara çözüm arayan diğer yaklaşımlar ve araştırma programları şu anda *mevcut*. Kuramcıların çoğu sicim kuramına yoğunlaşmış olsa da az sayıda araştırmacı bu diğer alanlarda hatırı sayılır ilerlemelerde bulunuyorlar. Daha da önemlisi, yakın gelecekte fiziği değişik yönlere çekebilecek ve sicim kuramının öngörmemiş olduğu yeni keşiflerle karşılaşacağımızın emareleri de gözükmeye başladı. Bu yeni kuramsal ve deneysel gelişmeler kitabın kalan kısmında üzerine eğileceğimiz konular olacak.

KISIM III
SİCİM KURAMININ ÖTESİ

13. GERÇEK DÜNYADAN SÜRPRİZLER

Yunan filozof Herakleitos bize güzel bir vecize bıraktı: Doğa gizlenmeyi sever. O kadar sık doğru çıkıyor ki bu. Herakleitos'un bir atomu görmüş olmasına imkân yok: O ve zamanının diğer filozofları atomlar üzerinde ne kadar fikir yürütmüş olsalar da bir atomu gözlemek o günkü teknoloji çerçevesinde imkânsızdı. Günümüzdeyse kuramcılar doğanın bu alışkanlığını oldukça fazla kullanıyorlar. Eğer doğa süpersimetriye ve üçten fazla uzay boyutuna haizse bunları doğrusu çok iyi saklamış.

Fakat bazen Herakleitos'un dediğinin tersi de doğrudur. Bazen anahtar ipuçları gözümüzün önündedir, en azından görenler için. Bugün aşikâr doğrular olarak kabul ettiğimiz ve gerçekten de kolayca gözlenen, eylemsizlik ya da düşen cisimlerin sabit ivmesi olduğu gibi olgular Herakleitos'un görüş alanında değildi, saklanıyorlardı. Galileo'nun yeryüzünde yaptığı deneylerde teleskoplar ya da mekanik saatler kullanılmamıştı. Bildiğimiz kadarıyla bu deneyler Herakleitos'un zamanında da yapılabilirdi. Sadece doğru soruların sorulması yeterli olurdu.

Yani sicim kuramının temel fikirlerini sınamanın ne kadar zor olduğu konusunda sızlanırken gözümüzün önünde bizden saklanan şeyler olup olmadığı konusunda düşünmeyi unutma-

malıyız. Bilim tarihinde, kuramın öngöremediği ve bu yüzden herkesi şaşırtmış birçok keşif vardır. Günümüzde kuramcıların önermediği, kuramların ipuçlarını taşımadığı ve fiziği yeni yönlere çevirebilecek gözlemler var mı? Bu tür gözlemlerin çoktan yapılmış olduğu ama onaylanmaları halinde kuramsal yaklaşımlarımızı rahatsız edeceği için göz ardı edildiği durumlar var mı?

Bu soruların cevabı olumludur. Yakın geçmişte yeni olgulara işaret eden ama ne sicim kuramcılarının ne de parçacık fizikçilerinin öngörmemiş olduğu deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bunların henüz hiçbiri kesinleştirilmemiştir. Bunlardan birkaçı hakkındaki sonuçlar güvenilirdir ama yorumlar tartışmalıdır; diğerleriyse genel kabul görmek için henüz çok yeni ve şaşırtıcılar.[1] Fakat burada bahsini etmemizi gerektirecek kadar da önemliler çünkü eğer bu yeni ipuçlarından herhangi biri gerçek bir buluşa dönüşürse temel fiziğin hiçbir sicim kuramı tarafından öngörülmeyen ve hatta genel olarak sicim kuramlarıyla çok sorunlu olacağı öğeleri var demektir. Böyle bir durumda kuram için diğer yaklaşımlar sadece bir seçenek olarak kalmayıp bir gerekliliğe dönüşecekler.

Evrenin ivmelenerek genişlemesinden sorumlu kara enerjiyi betimlediği düşünülen kozmolojik sabitle başlayalım. 10. Bölümde tartışmış olduğumuz gibi, bu enerji türü ne sicim kuramı ne de diğer kuramlar tarafından öngörülüyor ve sayısal değerini neyin belirlediği hakkında hiçbir şey bilmiyoruz. Birçok kuramcı bu konu üzerinde yıllarca sıkı çalışmış olmasına rağmen neredeyse hiç yol katedilmiş değil. Benim de bir cevabım yok ama bir cevabı nasıl bulabileceğimiz üzerine bir önerim var. Kozmolojik sabitin sayısal değerini bilinen fizik üzerinden tartışmayı bırakalım. Eğer bu olguyu açıklayabilmek için elimizdeki bilgi-

[1] Şaşırtıcı deney sonuçlarının deneylerin tekrarında onaylanmadığı durumlara sık rastlıyoruz. Bu, birilerinin samimi olmadığı anlamına gelmez. Sınırlarda gezinen deneyleri tekrarlamak zordur ve anlamlı veriyi gürültüden ayırt etmek de meşakkatlidir. Yeni tür bir deneyde hataların tüm kaynaklarını bulmak ve sonuçları tam olarak anlayıp kalıcı hale getirmek genelde yıllar alır.

ler yetersiz kalıyorsa bu yeni yönlere bakmamız gerektiğine işaret ediyor olabilir. Belki kozmolojik sabit başka bir fenomenin özelliğidir, bu durumda da bu olgunun diğer emareleri olabilir. Bunları nasıl araştırabilir ve nasıl belirleyebiliriz?

Cevap basit olacaktır, çünkü evrensel olgular nihayetinde çok basittirler. Örneğin fizikteki kuvvetleri betimlemek için birkaç sayı yeterli oluyor: Kuvvetin menzili ve genel olarak şiddetini belirleyen bir birim yük. Kozmolojik sabiti belirleyense bir ölçek. Bu ölçek kozmolojik sabitin evreni hangi uzunluk seviyesinde eğdiğinin bir ifadesi. Bu ölçeğe *R* diyelim; sayısal değeri yaklaşık olarak on milyar ışık yılı ya da 10^{27} santimetre.[2] Kozmolojik sabitin garipliği fizikteki diğer her uzunluk ölçütünden son derece büyük olması. *R* ölçeği ortalama bir atom çekirdeğinden 10^{40} kat ve Planck ölçütündense (ki bir protonun boyutlarından on üzeri yirmi kat daha küçük) yaklaşık 10^{60} kat daha büyük. Bu durumda *R* ölçeğinin tamamen yeni fizik içermesi olasılığı üzerine düşünmek çok mantıklı, aynı ölçütlerde gerçekleşen olguları gözlemeye çalışmak da iyi bir başlangıç olacaktır.

Kozmolojik sabit ölçütünde gerçekleşen diğer olgular var mı? Kozmolojinin kendisiyle başlayalım. Elimizdeki en kesin gözlemler *kozmik ardalan ışınımı* üzerine olanlardır. Bu ışınım gökyüzünün her bölgesinden bize ulaşan ve Büyük Patlamadan geriye kalan ışınımdır. Işınım tamamen ısısal, yani rastgeledir. Evren genişledikçe soğur ve şu anda sıcaklığı yaklaşık 2,7 Kelvin derecesi civarındadır. Işınım gökyüzünde yüksek bir kesinlik mertebesinde türdeştir ama yaklaşık yüz binde birlik bir seviyede bu türdeşlik üzerinde açısal oynamalar vardır (Şekil 1.3, üst). Bu oynamaların yapısı bize erken evren hakkında ipuçları sunar.

Geçen on yıl boyunca, bu ardalan ışınımının sıcaklık oynamaları uydulara, atmosferik balonlara ve yere konumlandırılmış dedektörlerle gözlendi. Bu deneylerin neyi ölçtüğünü anlamanın bir yolu bu oynamaların erken evrendeki ses dalgaları

---

[2] *R* üzerinden ifade edildiğinde kozmolojik sabitin değeri 1/*R* olur.

gibi olduğunu düşünmekten geçer. Faydalı bir soru, oynamaların şiddetinin dalga boyunun bir işlevi olarak nasıl davrandığıdır. Bu sorunun cevabı (Şekil 1.3, alt) bize hangi dalga boylarında ne kadar enerji olduğunu söyler.

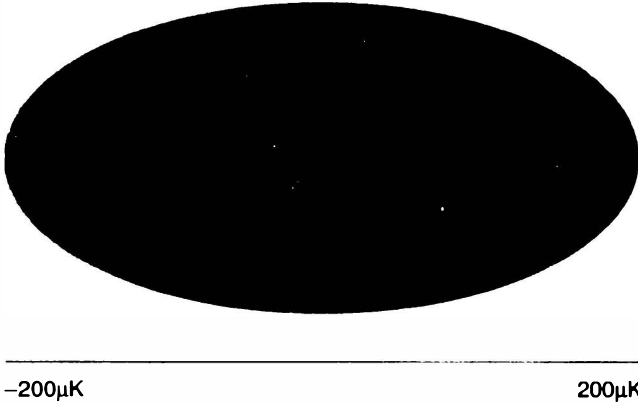
Şekilde, biri merkezi ve en şiddetli diğerleri daha küçük birçok tepe noktası göze çarpıyor. Bu tepeciklerin keşfi modern bilimin zaferlerinden biridir. Kozmologlar bunları şöyle yorumluyorlar: Erken evreni dolduran madde tıpkı bir davul zarı ya da bir flütün gövdesi gibi rezonans halindeydi. Bir müzik enstrümanının titreşim dalga boyu kendi cüssesiyle ilgilidir ve evren söz konusu olduğunda da bu doğrudur. Bu rezonansların dalga boyu bize, ışığa geçirgen hale geldiğinde, yani Büyük Patlamadan yaklaşık üç yüz bin yıl sonra sıcak ve ışığı geçirmeyen plazma ayrışıp maddenin ve enerjinin değişik şekillerine evrildiğinde, evrenin ne kadar büyük olduğunu söyler. Bu andan sonra mikrodalga ışınımı gözlenebilir olmuştur. Bu deneyler kozmolojik modellerimizin içerdiği büyüklüklerin sayısal değerlerini kısıtlamada çok merkezi olmuştur.

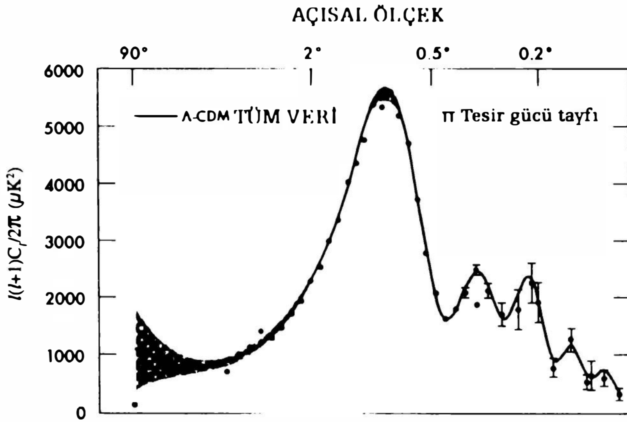
Verilerde gördüğümüz diğer bir unsursa en yüksek dalga boylarının pek az enerji içermesidir. Bu, az sayıda veriye dayandığı için istatistiksel bir oynama da olabilir. Ama eğer böyle değilse onun üzerinde dalga boylarının rezonansa girmediği bir sınır, bir keski olarak algılanabilir. İlginç olan bu sınırın sayısal değerinin *R* ölçütüyle uyuşmasıdır.

Bu tür bir keskinin varlığı şişme adını verdiğimiz erken evrenin en rağbet gören modeli açısından şaşırtıcıdır. Şişme kuramına göre evren çok erken zamanında üstel olarak genişlemiştir. Kuram ardalan ışınımının gözlenen türdeşliğini açıklamakta son derece başarılıdır çünkü bugün gözlediğimiz evrenin tamamının daha henüz plazma evresindeyken nedensellik ilişkisi içinde olmuş olduğunu garanti eder.

Kuram aynı zamanda ardalan ışınımında oynamaların da olacağını –bunların hızlı şişme evresinde gerçekleşen kuantum etkilerinin kalıntıları olduğunu iddia ederek– öngörür. Belirsizlik ilkesi uyarınca evreni dolduran enerji ve maddeyi oluşturan alanlar kuantum oynamaları yapar ve bunların etkisi uzayın ge-

ometrisini değiştirir. Evren bu evrede üstel olarak genişlediği için bu etkiler kalıcı olur ve ışığa geçirgen evre geldiğinde kendilerini sıcaklık oynamaları olarak gösterir.





Şekil 13. Üstte: Mikrodalga seviyesinde gökyüzünün görünümü. Kendi galaksimizden gelen sinyaller çıkartılmıştır. Geriye kalan elektronların ve protonların hidrojen atomları oluşturduğu zamanın bir resmi gibidir. Altta: Üstteki resmin değişik dalga boylarındaki enerji dağılımı. Noktalar WMAP ve diğer deneylerin verilerini yansıtıyor. Eğri çizgiyse standart kozmolojik modelin öngörüsünü gösteriyor.

Şişme kuramının hemen hemen türdeş yapıya sahip devasa bir evren parçası yarattığına inanıyoruz. Bu parçanın gözlenen evrenden defalarca kat daha büyük olduğu basit ölçekleme savlarıyla öne sürülebilir. Eğer şişme tam da bizim "gözlediğimiz kadar" olan evren parçasını yaratıp durmuş olsaydı bu sayıyı verecek özel bir durma zamanı şişme kuramı içinde yer almalıydı ve bu içinde bulunduğumuz evreye denk düşer. Bu pek olası gözükmüyor çünkü şişme gerçekleştiğinde evren şu andaki en sıcak yıldızın merkezinden yaklaşık 10'un on ya da yirmi mertebe katı kadar daha sıcaktı; yani o andaki uç koşullarda geçerli olan fizik yasaları şu andakilerden pek farklı olmalıydı. Şişmeyi gerçekleştiren fizik üzerine pek çok fikir var ama hiçbiri 10 milyar yıl gibi özel bir sayı içermiyor. Şöyle de ifade edebiliriz: şu anda gözlediğimiz kozmolojik sabitin değerinin şişmeye yol açan fizikle herhangi bir ilişkisini kurmak imkânsız gözüküyor.

Kısacası eğer şişme kuramı şu anda gözlediğimiz kadar büyük bir parçayı türdeş özelliklerle yaratabildiyse aslında çok daha büyük bir parçayı yaratmış olması daha olası. Bu da şu anlama geliyor: Ardalan ışımasında gözüken oynamaların yapısı hangi dalga boyuna bakarsak bakalım sürüp gitmeli. Eğer şu andakinden daha büyük bir evren parçasını gözlesek ardalan ışımasında sürekli yeni tepecikler keşfedebilmeliydik. Ama doğadan elde edilen veriler bu ardalan ışımasındaki oynamaların dalga boyu *R* seviyesini geçtiğinde neredeyse yok olduğunu gösteriyor.

Kozmologlar ardalan ışınımındaki geniş ölçekli oynamaları tetkik ettiklerinde şaşırtıcı sonuçlar gelmeye devam etti. Kozmologlar arasında evrenin çok çok büyük ölçeklerde türdeş olduğu bir tür inanıştır: Bu ölçeklerde hangi yöne bakarsak bakalım aynı yapıyı görmeliyiz derler. Gözlenen yapı tam olarak böyle değildir. Bu çok büyük ölçeklerdeki ışınım yöne bağımlı gözüküyor (Bu yön, kozmologlar Kate Land ve Joao Magueijo tarafından kötülük yönü.... olarak adlandırıldı.[3] Bu olgu hakkında henüz kimse akılcı bir çözüm önerebilmiş değil.

---

[3] K. Land ve J. Magueijo, "Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy," *Phys. Rev. Lett.*, 95:071301 (2005).

Bu gözlemsel buluşlar şişme kuramı üzerinden düşündüğümüzde beklediklerimizden pek farklı oldukları için henüz tartışmalı durumda. Şişme kuramı evren hakkında bildiklerimizin pek çoğunu oldukça başarılı bir şekilde ifade ettiğinden birçok temkinli kozmolog ardalan ışınımı verilerinde bir hata olduğundan şüpheleniyor. Gerçekten de, ölçümlerin basbayağı yanlış olma ihtimali her zaman vardır. Kamuoyuna sunulmadan önce veriler üzerinde oldukça incelikli analizler yapılır. Bunlardan biri gerçek ardalan ışınımını yalıtmak için kendi galaksimizden gelen ışınımı çıkarmaktır. Bu çıkarma yanlış yapılmış olabilir, ama veriler üzerinde uzman olan bilimcilerden pek azı bunun mümkün olduğunu düşünüyor. Gözlemlerimizin aslında istatistiksel anormalliklerden ibaret olması da diğer bir olasılıktır. *R* ölçeğinde bir dalgalanma gökyüzünün yaklaşık altmış derecelik bir kısmını kapsadığından bu seviyede pek az sayıda veriye sahibiz bu da istatistiksel oynamalara pencere açıyor. Evrende tercih edilen bir yön olması gözleminin bir istatiksel oynama olma olasılığı yaklaşık binde bir olarak tahmin ediliyor.[4] Bu durumda da kötü talihimize inanmak şişme kuramının çökmekte olmasına inanmaktan daha kolay.

Bu konular henüz bir sonuca bağlanmış değil. Şunu söylemek yeterli olacaktır: *R* ölçeğinde yeni ve garip bir fiziksel olgu aradık ve bulduk.

Bu ölçekte geçerli diğer olgular var mı? *R*'yi fizikteki diğer sabitlerle beraber kullanarak yeni ölçekler bulabiliriz. Bir örnek vereyim. *R*'nin ışık hızına bölünmüş haline bakalım: R/c. Bu bize bir zaman büyüklüğü verir. Bu büyüklük kabaca evrenimizin yaşıyla aynıdır. Bu sayının tersi, c/R, bir frekanstır; evrenin yaşı kadar zamanda bir kere salınan bir telinki gibi pek pes bir ses.

Devam edelim, mesela *c* kere *c* bölü *R*. Bu bir ivme büyüklüğüdür. Ve evrenin genişlemesinin şu anda gözlenen ivmelenmesiyle kabaca aynı sayıdır. Sayısal olarak gündelik hayatımızdaki ivmelerle karşılaştırıldığında pek küçüktür; yaklaşık olarak

---

[4] *Age.*

saniyede 10^{-8} kadar. Yerde gezinen bir böcek düşünün, kabaca saniyede on santimetre gidebilir. Eğer böcek bir köpeğin hayatı boyunca geçen sürede hızını iki katına çıkarsaydı yukarda bahsettiğimiz ivmeye sahip olurdu. Gerçekten de pek küçük bir ivme.

Kozmolojik sabitin değerini bağlayan yeni bir evrensel olgu olduğunu kabul edelim. Ölçekler örtüşeceğinden aynı ivmeye sahip diğer bütün hareketler bu olgu tarafından açıklanmalıdır. Kısacası bu kadar düşük ivmeli bir hareket arayıp da bulduğumuzda yepyeni bir şey olmasını bekleriz. Tam da burada iş ilgi çekici oluyor. Gerçekten de bu kadar düşük ivmeli hareketler var. Basit bir örnek tipik bir galaksinin etrafında dönen tipik bir yıldız. Bir galaksi etrafında dönen diğer bir galaksi daha da düşük bir seviyede ivmelenir. Acaba yörünge ivmeleri bu kadar küçük olan yıldızlar ile olmayanları karşılaştırdığımızda yeni bir olgu gözlüyor muyuz? Cevap evet. Hem de etkileyici bir şekilde evet. Bu kara madde problemi olarak anılıyor.

Birinci Kısımda tartıştığımız gibi, astronomlar kara madde olgusunu kendi galaksilerinin merkezi etrafında dönen yıldızların yörüngelerini incelediklerinde fark ettiler. Bu sorun yaratıyordu çünkü yıldızların hareketini inceleyerek aslında galaksideki madde miktarı hakkında bir fikir elde ediyorlardı. Birçok galaksi için bu büyüklük dolaysız olarak gözlenen madde miktarından farklı çıkıyordu.

Artık bu farklılık hakkında daha derinlemesine tartışabiliriz. (Kolaylık olması için, tartışmamızı yıldızların hemen hepsinin bir disk üzerinde hareket ettiği spiral galaksilerle sınırlayacağız.) Bu problemin gözlendiği her galakside etkinin belli bir yarıçap dışındaki yıldızları etkilediği gözlendi. Bu sınırın altında bir sorun yok; ivmeler tam da dolaysız olarak görünen madde miktarıyla açıklanabiliyor. Kısacası bir galakside Newton yasaları dışına çıkmamızı gerektirmeyen bir iç bölge var. Bu bölgenin dışında işler karışıyor.

Ana soru şu: Bu iki bölgeyi ayıran sınır nerede? Bunun belli bir yarıçapta olduğunu kabul edebiliriz ki bu doğal gözüken bir kabul olurdu. Ama bu kabul yanlış. Acaba sınır bölgesi belli bir

yıldız ya da yıldız ışığı yoğunluğuna mı tekabül ediyor? Yine, cevap hayır. Sınır bölgesini belirleyen büyüklüğün şaşırtıcı biçimde ivmelenme değerinin kendisi olduğu gözleniyor. Galaksi merkezinden gitgide daha dışardaki yıldızlara baktığımızda ivmelenmeleri de gitgide azalıyor ve bu ivmelenmenin belirli bir değeri Newton fiziği beklentilerimizden sapılan yarıçapı tanımlayan etkenin ta kendisi. Bu sınırın üstünde ivmelenen her yıldız tam da Newton fiziği beklentilerine uyuyor ve gözlenen ivme bu açıdan doğru bir şekilde hesaplanabiliyor. Ama gözlenen değer bu eşik değerinden az olduğunda artık Newton yasasıyla uyumlu olmuyor.

Bu özel ivmelenmenin değeri nedir? Ölçülmüş değer kabaca 1,2 10^{-8} santimetre bölü saniye kare. Bu gerçekten de kozmolojik sabitin yarattığı c^2/R ivme değerine çok yakın!

Kara madde hakkındaki bu önemli detay Mordehai Milgrom adındaki İsrailli bir fizikçi tarafından 1980'li yılların başında keşfedildi. Bulgularını 1983 yılında yayımladı ama uzun yıllar boyunca bu bulgular göz ardı edildi;[5] fakat veriler iyileştikçe bu saptamanın doğru olduğu açıklık kazandı. C^2/R büyüklüğü galaksiler için Newton yasalarının geçersiz olduğu sınırı belirliyor. Astronomlar buna Milgrom yasası diyorlar artık.

Bu tespitin ne kadar garip olduğunu anlamanızı istiyorum. R büyüklüğü tek bir galaksiden çok daha geniş olan evren hakkında bir büyüklük. Daha önce de söylediğimiz gibi evren bu c^2/R ivmesiyle hızlanarak genişliyor. Bu sayının bir galaksinin dinamiği üzerinde de bağlayıcı olması için herhangi bir belli sebep yok. Böyle olduğu algısı bize verilerin dayattığı bir gerçeklik. İlk duyduğumda bu durum karşısında ne kadar şaşırdığımı çok iyi hatırlıyorum: Hem şoke olmuş hem de heyecanlanmıştım. Yaklaşık bir saat boyunca yarı şuursuz bir şekilde yürüyüp tutarsızca açık saçık laflar ettim. Sonunda! Evren hakkında biz kuramcıların düşündüğünden daha farklı şeyler olabileceği hakkında deneysel bir ipucu elde etmiştik.

---

5 S M. Milgrom, "A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis," *Astrophys. Jour.*, 270(2): 365-89 (1983).

Bu durumu nasıl açıklamak gerekiyordu? Rastlantı durumu dışında, üç olasılık var. Kara madde var olabilir ve c^2/R büyüklüğü kara madde parçacıklarının fiziğini belirler. Ya da galaksilerdeki bu kara madde haleleri c^2/R üzerinden tarif ediliyor çünkü daha önce galaksi oluşturmak için madde çökerken kara madde yoğunluğu bu sayıyla veriliyordu. İki durumda da kara enerji ve kara madde farklı ama ilintili olgular olmalı.

Üçüncü olasılıksa kara maddenin olmadığı bir durum: Newton yasaları c^2/R'den daha düşük ivmeler hakkında söz sahibi değil. Bu da yeni bir yasayı gerektiriyor. 1983'te yazdığı makalede Milgrom bu tür bir kuram önermişti. Buna "değiştirilmiş Newton dinamiği" (MOND)[6*] adını verdi. Newton'ın evrensel kütleçekim yasası uyarınca belli bir kütleye sahip bir nesnenin diğer bir parçacık üzerinde yarattığı ivme bu iki nesne arasındaki uzaklık arttıkça kesin bir formülle tanımlı şekilde, yani uzaklığın karesi olarak azalır. Milgrom'un kuramına göre Newton yasası doğrudur ta ki ivme 1,2 10^{-8} cm/s^2 seviyesine azalana kadar. Bu noktadan sonra uzaklığın karesiyle azalmak yerine sadece uzaklıkla doğru orantılı olarak azalır. Dahası Newton yasası ivmenin bu etkiyi yaratan nesnenin kütlesiyle orantılı olduğunu söylerken, MOND açısından bakıldığında ivmenin düşük olduğu durumlarda bu etki etkiyi yaratan nesnenin kütlesinin kareköküyle orantılıdır.

Eğer Milgrom haklıysa, bahsini ettiğimiz özel yarıçaptan daha dışardaki yıldızların normalde beklenenden daha fazla ivmelenmesinin sebebi Newton yasasının öngördüğünden daha şiddetli bir kütleçekim etkisi altında olmalarından kaynaklanıyor. İşte yeni fizik; Planck uzunluğu seviyesinde değil, bir parçacık hızlandırıcısında da değil, ama tam önümüzde; gökyüzünde gördüğümüz yıldızların hareketlerinde.

Öte yandan, bir kuram olarak MOND, fizikçiler için pek bir anlam ifade etmez. Kütleçekimsel ya da eletromanyetik kuvvetlerin şiddetlerinin uzaklığın karesiyle azalması için oldukça iyi sebepler var. Bu görelilik kuramı ve gözlenen uzayın üç boyutlu

---

6 * Modified Newtonian Dynamics –çn.

olmasıyla alakalı. Burada detaylara girmeyeceğim ama çıkarımlar kesin ve net. Milgrom'un kuramı genel ve özel görelilik dahil olmak üzere basit temel fiziksel ilkelerle çelişki içinde.

Genel görelilik kuramını bir tür MOND ya da ona benzer bir yapı içerecek şekilde genelleştirme çabaları olmadı değil. Bu tür bir kuram Jacob Bekenstein tarafından icat edildi. Bir diğerini, o sırada Toronto Üniversitesinde olan, John Moffat buldu. Bir başkasını da Connecticut Üniversitesinden Philip Mannheim. Bunlar oldukça yaratıcı insanlar (Bekenstein, 6. Bölümden hatırlayacağınız üzere, kara delik entropisini keşfetmişti. Moffat ise değişken ışık hızlı kozmoloji dahil olmak üzere pek çok şaşırtıcı kuram oluşturdu.) Bahsini ettiğimiz bu üç kuramın hepsi bir ölçüde çalışıyor ama bence oldukça yapay yapılar. İçlerinde bir sürü yeni alan var ve bunların değerleri, deneylerle uyum sağlayabilmek için, olmayacak sayılara sabitlenmek zorunda kalıyor. Aynı zamanda kuramların kararlılığı konusunda da kaygılıyım ama yazarlar bu sorunların çözüldüğünü iddia ediyorlar. İyi haber şu: Bilimciler bu kuramları eski moda yöntemlerle araştırabilirler; Kuramların öngörülerini elimizdeki oldukça geniş astronomik verilerle karşılaştırarak.

Söylememiz gerekir ki, galaksilerin dışına çıkıldığında MOND pek iyi işlemiyor. Galaksiler arası madde yoğunluğu ve bu ortamda galaksilerin hareketi hakkında oldukça fazla veri var. Bu seviyede kara madde yaklaşımı MOND'dan her durumda çok daha iyi gözüküyor.

Öte yandan, MOND galaksiler içinde bayağı iyi işler gözüküyor.[7] Son on yılda elde edilen veriler üzerinden bakarsak (son sayıma göre) yüz üzerinden seksenden fazla galaksi için, MOND dış yıldızların nasıl hareket ettiğini başarıyla öngörüyor. Aslında MOND yıldızların galaksi içinde nasıl hareket ettiğini herhangi bir kara madde kuramından daha *iyi* bir şekilde öngörebiliyor. Şüphesiz, kara madde kuramları gitgide değişip gelişiyor, bu yüzden karşılaşmanın nasıl sonuçlanacağı üzerinde iddiada

---

[7] MOND hakkında daha fazla bilgi, atıflar ve deneysel destekler için *bkz.* http://www.astro.umd.edu/~ssm/mond/.

bulunmayacağım. Ama şu an için, korkutucu bir durumla karşı karşıyayız. Elimizde birbirinden çok farklı iki kuram var ve sadece birinin doğru olabileceği neredeyse kesin gibi. Kara madde yaklaşımı üzerine kurulu kuram oldukça anlamlı, inanması kolay ve galaksilerin iyice dışlarındaki hareketler hakkında başarılı ama içleri konusunda değil. Öbür kuram, MOND, galaksi içlerinde pek iyi ama dışlarındaki hareketleri açıklayamıyor. Öte yandan MOND bilimin oldukça kabul görmüş ilkeleriyle de ters düşüyor. İtiraf etmeliyim ki, geçen yıl bu konu dışında uykumu kaçıran pek bir şey olmadı.

Eğer şu Milgrom'un yasası gizemli kozmolojik sabitin bir şekilde galaksilerde gezinen yıldızların hareketleriyle ilintili olduğunu söylüyor olmasaydı, MOND fikrini kenara itivermek hiç de zor olmazdı. Verilerden apaçık belli ki, c^2/R yıldızların hareketinde anahtar bir rol oynuyor. Bu rol kara madde ve kara enerji diye de adlandırdığımız evrenin genişleme ölçeği arasındaki bir ilişki ya da daha kökten bir fikir de olabilir. Netice olarak bu seviyedeki ivmelenmelerde yeni bir fizik olabileceğine işaret ediyor.

MOND hakkında tanıdığım kuramcılar arasında hayal gücü en gelişmiş olanlarıyla birçok fikir alışverişi yaptım. Bu genelde şöyle ilerler: En başta aklı başında bir ana akım sorun hakkında konuşuruz ve hiçbirimiz galaksilerden bahsetmeyiz. Sonra birbirimize sanki bildiğimiz bir şeyi fark etmişiz gibi bakarız ve içimizden biri sanki gizli bir kötü alışkanlığı hissetmiş gibi, "Demek siz de MOND hakkında düşünüyorsunuz" deyiverir. Ardından hepimiz çılgın –çünkü MOND hakkında aşikârca yanlışlara götürmeyen her düşünce böyle sonuçlara varıyor– fikirlerimizi paylaşmaya başlarız.

Bu durumun tek avantajı elimizde oldukça fazla ve gitgide daha da kesinleşen veriler olması. Nihayetinde ya kara madde yaklaşımının galaksilerdeki yıldızların hareketini iyi açıkladığını ya da fizik yasaları hakkında temelden bir değişime gitmek gerektiğini anlayacağız.

Kara madde ve kara enerji olgularının ortak bir büyüklükle işlemeleri şüphesiz ki bir rastlantı olabilir. Her rastlantı anlam-

lı olmak zorunda değildir. Bu durumda böyle küçük ivmelenmelerin başka hangi sistemlerde gerçekleşebileceğini araştırmalı ve gözlendikleri durumda da kuramlar arası karşılaştırmalara gitmeliyiz.

Bu tür bir durum gerçekten de *var* ve bu da diğerleri gibi kafa karıştırıcı. NASA şu ana kadar uzaya birçok sonda yolladı. Bunlardan ikisi –Pioneer 10 ve 11– on yıllar boyunca izlendi. Bu sondalar güneş sisteminin dış gezegenlerini inceledikten sonra sistemin düzleminde olmak üzere ters yönlerde dışarı hareketlerine devam ettiler.

California, Pasadena'da yer alan JPL'de –Jet İtki Laboratuvarı– NASA bilimcileri bu sondaların hızlarını Doppler kayması tekniğiyle ölçerek yörüngelerini oldukça hassas bir şekilde izliyorlar. JPL aynı zamanda güneş ve sistemdeki diğer nesnelerin etkilerini hesaba katarak sondaların hareketini öngörmeye de çalışıyor. İki sonda için de gözlenen yörüngeler kuramsal temelli hesaplarla uyuşmuyor.[8] Bu uyuşmazlık sondaları güneşe doğru çeken fazladan bir ivmeyle açıklanabiliyor. Bu gizemli ivmenin şiddeti $8\ 10^{-8}$ cm/s^2; galaksilerde ölçülen anormal ivmelenmenin yaklaşık altı katı. Yine de iki olgunun görünüşte alakasız olduğunu hatırladığımızda belki de aynı tür sebeplerden kaynaklanıyor olabileceklerini düşündürecek kadar yakın.

Kabul etmeliyim ki bu sondalar hakkındaki veriler henüz genel olarak kabul görmüş değil. Bu anormallik her iki sonda için de gözlenmesine rağmen –ki sadece birisinde gözlenmesinden çok daha ikna edici bir durum– bu sondaların ikisini de JPL yaptı ve izleyen de yine onlar. Öte yandan, JPL verileri Aerospace şirketinin Yüksek Doğruluklu Uydu Hareket Programı çalışanları tarafından da incelendi ve onların bulguları JPL'inkilerle örtüşüyor. Kısacası veriler şu ana kadar anlamlı kalabildi. Yine de astronomların ve fizikçilerin kanıt kabul etmek için, özellikle işin ucunda Newton evrensel kütleçekim kanunun olası çöküşü varsa, oldukça yüksek standartları vardır.

---

8 J.D. Anderson vd., "Study of the Anomalous Acceleration of Pioneer 10 and 11," gr-qc/0104064.

Bahsi geçen ivme çok küçük olduğundan ufak bir etkenin sebep olduğu düşünülebilir. Belki sondanın güneşe bakan kısmının sıcaklığı öbür taraftan beklenenden daha fazladır ya da bir gaz kaçağı vardır. JPL takımı bu tür her etkeni hesaba katmış gözükmesine rağmen bugüne kadar bu anormal ivmelenmeyi açıklayamamış durumda. Yakınlarda bu tür etkileri en aza indirgeyecek şekilde tasarlanmış özel bir sonda projesi önerildi. Bu sondanın güneş sisteminden çıkması yıllar alacaktır, ama yine de bu kadar beklemeye değer bir proje. Newton yasaları üç yüzyıldan fazladır ayakta duruyor, doğru olup olmadığını sınamak için biraz daha bekleyebiliriz.

Peki, MOND ya da Pioneer anomalisi doğru çıkarsa ne olacak? Bu veriler halihazırda bildiğimiz bir kuramla açıklanabilir mi?

En azından biliyoruz ki, MOND şu ana kadar çalışılmış tüm sicim kuramı türleriyle uyumsuzdur. Acaba gelecekte keşfedilecek yeni bir sicim kuramıyla uyumlu olabilir mi? Açıkçası, sicim kuramının esnekliği göz önüne alındığında, bunu reddetmenin kesin bir yolu yok. Yine de böyle bir kuramı oluşturmanın oldukça zor olacağı açık. Diğer kuramlardan ne haber? MOND'u zar-evren ya da kuantum kütleçekim kuramlarının herhangi bir çeşnisiyle tutarlı kılmak için birçok bilimci çaba gösterdi. Birkaç fikir var ama bunlar pek de göz alıcı şekilde işlemiyorlar. Perimeter Enstitüsünde çalışma arkadaşım olan Fotini Markopoulou'yla MOND'u kuantum kütleçekimden nasıl çıkarabileceğimiz üzerinde spekülasyonlarda bulunduk ama fikirlerimizi ayrıntılı bir şekilde işlevselleştiremedik. MOND, şu ana kadar kimsenin çözemediği, kafa karıştırıcı bir gizem. Bu yüzden isterseniz yeni fizik hakkında deneylerden kaynaklanan diğer ipuçlarına geçelim.

En etkileyici deneyler o ana kadar hüküm sürmüş ve genel kabul görmüş fikirleri altüst edenlerdir. Bazı kanılar düşünce sistemimize o kadar işlemiştir ki gündelik dilimizde bile yer etmiştir. Örneğin fiziksel *sabitler*den bahsederiz, onların hiç değişmediğinin altını çizmek için. Bu büyüklükler fizikteki en temel sayıları da içerir: Örneğin ışık hızı ya da elektronun yükü

gibi. Peki bu sabitler gerçekten de sabit midir? Işık hızı zamanla değişemez mi? Eğer öyleyse bu tür bir değişme ölçülebilir mi?

11. Bölümde bahsini ettiğimiz çoklu evren kuramında bu sabitlerin değişik evrenlerde farklı olabileceğini düşünmüştük. Peki, tek bir evrende bu tür değişiklikler mümkün mü? Acaba kendi evrenimizde örneğin ışık hızının zamanla değişmesi mümkün mü? Bazı fizikçiler ışık hızının belirli bir birimler sisteminde tanımlandığına işaret edip birimlerin değişmesi durumunda bu tür bir değişimin ölçülebilirliğine eleştiriler getirdiler. Eğer birimlerin kendileri de değişirse ışık hızında nasıl bir değişim ölçülebilirdi ki?

Bu eleştiriye cevap vermek için uzunluk ve zaman birimlerinin nasıl tanımlandığını hatırlayalım. Bu birimler standart bir fiziksel sistemin belirli bir dinamiğine gönderme yaparak tanımlanır. En başta, bu standartlar dünyeviydi: metre denilen büyüklük kuzey kutbundan ekvatora olan dik uzaklığın milyonda biri olarak tanımlıydı. Günümüzdeyse standartlar atomların özelliklerine bağlanmıştır; örneğin bir saniye sezyum atomunun titreşimleri arasındaki zamanla tanımlanır.

Eğer birimlerin nasıl tanımlandığını hesaba katarsak, o zaman fiziksel sabitler bunların oranları olarak ifade edilir. Örneğin ışık hızını tanımlamak için ışığın belirli bir atomu katetmek için gereken süreyi ve aynı atomun yaydığı ışığın dalga boyu kullanılabilir. Bu tür oranlar tüm birim sistemlerinde aynıdır. Oranlar atomların tamamen fiziksel özelliklerine bağlı kalır ve onları ölçmek için hiçbir birime gerek kalmaz. Bu oranlar fiziksel özelliklere bağlı olduğundan, bunların zamanla değişip değişmediğini sormak da fizikseldir. Eğer değişiyorlarsa o zaman atomların bir özelliği diğerine göre zamanla değişiyor demektir.

Bu oranlardaki değişim örneğin atomların yayacağı ışığın frekanslarındaki değişimlerle ölçülebilir. Atomlar süreksizce dağılmış birçok frekansta ışık yayabilirler. Bu da bu değişik frekansların birçok değişik oranları olacağı demektir. Bu durumda da yakın ve uzak galaksilerin ya da yıldızların yaydıkları ışığı birbirleriyle kıyaslayarak olası bir değişimi gözleyebileceğimiz anlamına gelir.

Bu tür deneyler kendi galaksimizdeki değişik yıldızlar üzerinden yapıldığında bahsi geçen tür bir değişime rastlamadılar. Aynı şekilde yakınlardaki galaksiler üzerinde yapılan çalışmalar da olumsuz sonuçlar verdi. Anlaşılan, bugünden geçmişe uzanan milyonlarca yıllık bir süre içinde fiziksel sabitler hiç değişmedi. Ama Avustralya'daki bir grup kuasarlardan gelen ışığı izlediklerinde bir değişim gözlediler. Bu tür kaynaklardan gelen ışık yaklaşık on milyar yıl önce yayılmaya başlamıştı. Avustralyalı bu bilimciler kuasarların ışığının atomik yelpazesini dolaysız olarak gözlemiyorlar, çok daha akıllıca bir şey yapıyorlar. Kuasardan dünyamıza ulaşan ışık, yolu boyunca birçok galaksiyi katediyor. Bu demetler ne zaman bir galaksiden geçse bir kısmı soğuruluyor. Atomlar ışığı çok belirli frekanslarda soğururlar, ama Doppler etkisinden dolayı, ışığın soğurulduğu frekans kırmızıya doğru kayar. Bu kayma galaksinin bize uzaklığıyla doğru orantılıdır. Sonuçta kuasardan bize gelen ışığın soğurulduğu frekanslar değişik galaksilerin bizden uzaklığının bir işlevi olarak çok kapsamlı bir çizgiler bütünü oluşturur. Bu çizgilerin ifade ettiği frekansların oranlarına bakarak ışığın kuasarda oluştuğundan bize ulaşana kadar geçen sürede temel sabitlerin ne kadar değiştiğini bulabiliriz. Bu değişim bir frekans değişimi olarak gözükecektir. Birçok temel sabit olduğundan fizikçiler en basitini incelemekte anlaştılar. Bu, ince yapı sabiti olarak da adlandırılan ve atomu tanımlayan temel büyüklüklerden oluşan ve fiziksel boyutu olmayan –tıpkı pi sayısı gibi– bir sabit. Bunu Yunan alfabesindeki alfa harfiyle ifade ediyoruz. Tam olarak elektronun yükünün Planck sabitine bölünüp sonra da sonucun ışık hızının karesine bölünmesiyle elde ediliyor.

Avustralyalılar Hawaii'deki Keck teleskobuyla elde edilen oldukça keskin ışınım yelpazesi verisini kullanarak yaklaşık seksen adet kuasarı incelediler. Verilerden çıkardıklarına göre alfa parametresi 10 milyar yıl önce bugünkü değerinden on binde bir daha küçüktü.[9]

---

9 M.T. Murphy vd., "Further Evidence for a Variable Fine Structure Constant from Keck/HIRES QSO Absorption Spectra", *Mon. Not. Roy. Ast. Soc.*, 345:609-38 (2003).

Bu az bir değişim, ama eğer diğer deneylerle doğrulanırsa devasa bir keşif; on yıllar boyunca en önemlisi. Bir temel sabitin kozmik zamanda değişebileceğini gözlemiş olacağız.

Tanıdığım birçok astronom açı görüşlü yaklaşmayı yeğliyor. Hiç olmazsa biliyoruz ki verilerin toplanışı ve analizi son derece dikkatli yapıldı. Avustralyalı takımın veri analiz metotlarında kimse bir hata bulamadı. Yine de biliyoruz ki bu deneyler olası keskinliğin sınırlarında geziniyor ve bu da henüz bilemediğimiz bir hatanın verilere sirayet etmiş olabileceğini alenen yadsımamızı engelliyor. Bu kitabın yazıldığı zamanda durum henüz karışık; yepyeni tekniklerin kullanıldığı her deneyde olduğu gibi. Diğer bazı araştırma grupları da ölçümleri tekrarlamaya çalışıyorlar ve bulgular tartışmalı.[10]

Birçok kuramcı ince yapı sabitindeki bu zamansal oynamaya kuşkulu yaklaşıyor. Bu tür bir değişimin hiç de doğal olamayacağını ve netice olarak da çekirdek parçacıklarının ve elektronların fiziğine atomik seviyede geçerli zaman sürelerinden çok daha farklı bir büyüklüğün sirayet edeceğini söylüyorlar. Şüphesiz ki bu görüşü kozmolojik sabit açısından da aynı şekilde dillendirebilirlerdi. Gerçekten de ince yapı sabitindeki bu oynamanın ölçeği kozmolojik sabit dışında başka hiçbir ölçümle uyuşmuyor. Belki de *R* ölçeğiyle alakalı başka bir gizemdir bu.

R büyüklüğünün bir diğer tezahürü de nötrino kütleleri olabilir. *R*'yi temel fiziksel sabitleri kullanarak bir kütle cinsinden ifade edebiliriz. Bunu yaparsak tam da nötrinolar arasındaki ölçülmüş kütle farkına varıyoruz. Kimse, bilinen en hafif parçacıklar olan nötrinoların bu *R* büyüklüğüne neden bağlı olabileceğini bilmiyor. Ama yine de durum böyle.

R ölçeği hakkında son bir deneysel ipucu da var. Onu ve Newton kütleçekim sabitini kullanarak kütleçekim kuvveti üzerinde milimetre seviyesinde oynamalar olabileceğini çıkar-

---

10 Örnek olarak *bkz.* E. Peik vd., "Limit on the Present Temporal Variation of the Fine Structure Constant," *Phys. Rev. Lett.*, 93(17):170801 (2004) ve R. Srianad vd., "Limits on the Time Variation of the Electromagnetic Fine Structure Constant in the Low Energy Limit from Absorption Lines in the Spectra of Distant Quasar," *Phys. Rev. Lett.*, 92(12):121302 (2004).

sayabiliriz. Şu anda, Eric Adelberger tarafından yönetilen Washington Üniversitesindeki bir araştırma grubu, birbirlerinden milimetre seviyesinde uzaklıktaki iki nesne arasındaki kütleçekim kuvvetini son derece hassas metotlarla ölçüyorlar. Haziran 2006 itibariyle kamuoyuyla paylaştıkları neticelere göre milimetrenin yüzde altısı seviyesindeki uzaklıklarda Newton yasasından bir sapma yok.

Yaptığımız deneylerin en azından fiziğin temel ilkelerini sınamasını beklemeliyiz. Bu ilkelerin keşfedildikten sonra ebedi oldukları kanısı yaygındır, ama fiziğin tarihi başka bir öykü anlatıyor. Neredeyse her ilke zamanla terkedildi. Ne kadar faydalı, ne kadar başarılı bir yaklaşım sunsalar da deneyler doğayı daha da keskin yöntemlerle sınadıkça bu ilkelerin geçerliliği üzerine kuşkular gelişmesi pek mümkündür. Platon, göklerdeki her nesnenin çemberler üzerinde hareket ettiğini iddia etmişti. Bunun için geçerli sebepleri vardı: Ayın üstündeki her şeyin ebedi ve mükemmel olduğu kanısı yaygındı ve bir çemberden daha mükemmel bir hareket tahayyül edilemiyordu. Ptolemaios bu fikri episikllere genişletti: Artık elimizde çemberler üzerinde yuvarlanan çemberler vardı.

Gezegenlerin yörüngeleri gerçekten de oldukça geçerli şekilde çemberlerden oluşur ve gezegenlerin yörünge üzerindeki hareketleri de oldukça yeknesaktır. Bilinen gezegenler içinde yörüngesi çembere en az benzeyen gezegenin kural tanımaz Mars olması belki de talihin bir oyunudur. Yine de bu yörünge çembersel olmaya o kadar yakındır ki çıplak gözle izlenebilir olmanın sınırındadır. 1609 yılında dokuz yıl süren acılı bir sürecin nihayetinde Johannes Kepler Mars'ın yörüngesinin bir elips olması gerektiğine kanaat getirdi. Aynı yıl, Galileo teleskobunu gökyüzüne çevirdi ve yeni bir astronomi çağını açtı ve sonuçta Kepler'in haklı olduğu da anlaşıldı. Çemberler en mükemmel eğrilerdir ama gezegen yörüngeleri çember değildir.

Eskiler çemberi en mükemmel şekil olarak ilan ettiklerinde bakışımı en yüksek olduğunu ima ediyorlardı. Çemberin üzerindeki her nokta diğerleriyle aynı özelliklere sahiptir. Vazgeçmemizin en zor olduğu ilkeler genellikle simetri görme ihtiya-

cımıza karşılık veren ve ilke seviyesine yücelttiğimiz fikirlerdir. Modern fizik en temel ilkeleri içerdiği düşünülen birtakım simetriler üzerine kuruludur. Eskilerden pek farklı olmayarak, günümüz fizikçilerinin çoğu temel bir kuramın en simetrik yasayı içerdiğini düşünür. Bu içgüdüye kulak vermeli miyiz, yoksa tarihin bize gösterdiği dersleri hatırlamalı mıyız? Gezegenler örneğinde olduğu gibi bu tarih bize doğanın yakından bakıldığında düşündüğümüzden daha az simetrik olduğunu gösterdi.

Günümüz kuramlarının temeline işlemiş simetriler Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramlarında yer alanlardır. Bunların en basiti eylemsiz gözlemcilerin eşdeğerliliği ilkesidir. Aslında bu ilke Galileo'nun demeliyiz ve 17. yüzyıldan beri fiziğin temel fikri olmuştur. Bu ilke durmakla belli bir yönde sabit bir hızla gerçekleşen hareketi birbirinden ayrıştıramayacağımızı söyler. Bu ilke sayesinde gezegenimizin ya da seyahat ederken kullandığımız taşıtın sabit hızlı hareketini hissetmememiz olgusunu açıklarız. İvmelenme olmadığı sürece hareketi hissetmek imkânsızdır. Bu ilkeyi ifade etmenin bir diğer yolu da temelde diğerlerinden ayrık bir gözlemcinin olamayacağıdır: İvmelenme olmadığı sürece her gözlemci eşdeğerdir.

Einstein'ın 1905 yılında yaptığı bu ilkeyi ışığın fiziğine uyarlamaktı. Bunun temel bir sonucu ışığın hızının gözlemcinin ya da kaynağın hızından bağımsız bir sabit olduğudur. Birbirimize göre nasıl bir hareket içinde olursak olalım bir ışık parçacığının hızını kesinlikle aynı ölçeriz. Einstein'ın özel görelilik kuramının temeli budur.

Özel görelilik kuramı veri olarak alındığında, temel parçacıkların fiziği hakkında birçok öngörüde bulunabiliriz. Örneğin kozmik ışınları ele alalım. Bunlar çoğunlukla proton olduğu düşünülen ve evrende hızla hareket eden parçacıklardır. Dünyanın atmosferine çarptıklarında oradaki atomlarla etkileşerek yeryüzüne doğru hareket eden parçacık demetleri yaratırlar. Bu demetleri de aşağıda laboratuvarlarımızda gözleyebiliriz. Bu kozmik ışınların temel kaynağını kimse bilmiyor ama ne kadar fazla enerjileri varsa o kadar enderdirler. Bir protonun kütle enerjisinin yüz milyon katı kadar enerji içerenleri gözlenmiştir.

Bu kadar enerjik olabilmeleri için bu protonların ışık hızına çok ama çok yakın hareket etmeleri gerekir. Işık hızı kütleli hiçbir parçacığın ulaşamayacağı bir üst sınırdır.

Kozmik ışınların uzak galaksilerden geldiği düşünülür, eğer öyleyse burada gözlenmeleri için milyonlarca hatta bazen milyar ışık yılı yol katetmişlerdir. 1966 yılında, iki Rus fizikçi, Georgiy Zatsepin ve Vadim Kuzmin ve onlardan bağımsız olarak Cornell Üniversitesinde çalışan fizikçi Kenneth Greisen, sadece özel görelilik kuramını kullanarak kozmik ışınlar hakkında kayda değer bir öngörüde bulunmuşlardı.[11] Bu bulgularından –ki genel olarak GZK olgusu olarak anılır– bahsetmek önemli çünkü şu sıralar sınanıyor. Özel görelilik kuramı üzerine bugüne kadar yapılmış en keskin sınav bu. *Aslında özel görelilik kuramının Planck mertebesine kadar varan ilk sınavı. Bu mertebede kuantum kütleçekim etkilerini görmeyi beklediğimizden bahsetmiştik.*

İyi bilimciler ellerindeki her olanağı sonuna kadar kullanır. Greisen, Zatsepin ve Kuzmin'in anladığı şey elimizin altında insan eliyle inşa edilemeyecek bir laboratuvarın, yani evrenin olduğudur. Milyarlarca yıldır yolda olup evrenin önemli bir kısmını katedip dünyaya gelen kozmik ışınları gözleyebiliyoruz. Bu seyahat sırasında ufacık etkiler –dünyevi deneylerle gözükemeyecek kadar küçük– bile yavaş yavaş eklenerek gözlenir hale gelebilir. Eğer evrenin kendisini bir laboratuvar olarak kullanırsak hayal edebileceğimizden daha derin yapılara nüfuz edebiliriz.

Fikirdeki ana nokta şu: Kozmik ışınların katettiği mesafenin hepsi tam olarak boşluk değil; kozmik ardalan ışınımıyla dolu koca bir havuz. Greisen'in ve Rus bilimcilerinin farkına vardıkları şey kritik bir değerden daha fazla enerjiye sahip protonların bu ardalan ışımasıyla etkileşerek değişik parçacıklar –yüksek olasılıkla pi mezonları– yaratabileceğiydi. Bu etkileşme protonlardan enerji çalarak onların yavaşlamasına yol açmalıy-

---

[11] K. Greisen, "End of the Cosmic-Ray Spectrum?" *Phys. Rev. Lett.* 16(17):748-50 (1996) ve G.T. Zapstein ve V.A. Kuzmin, "Upper Limit of the Spectrum of Cosmic Rays," *JETP Letters*, 4:78-80 (1996).

dı. Kısacası, ardalan ışımasının varlığında uzay pi mezonları yaratabilecek kadar enerjiye sahip protonlara opak –geçirmez– olmalıydı.

Bu durumda uzay bir tür filtre gibi çalışır. Kozmik ışınımı yaratan protonlar sadece bahsi geçen kritik değerden daha az enerjiye sahiplerse serbestçe yol katedebilir. Eğer daha fazla enerjileri varsa bu pi mezonlarını yarata yarata enerji kaybederek nihayetinde kritik değerin altında bir hıza yavaşlamalılar. Sanki evren protonlara etken bir hız limiti koymuş gibidir. Bu şekilde düşünerek, Greisen, Zatsepin ve Kuzmin dünyada ölçülecek kozmik parçacık enerjilerine bir üst sınır öngörmüş oldular. Bahsi geçen bu enerji Planck enerjisinin (10^{19} GeV) milyarda biri değerindedir ve GZK keskisi olarak adlandırılır.

Bu inanılmaz bir enerji seviyesidir, Planck mertebesine bildiğimiz herhangi bir sistemden çok daha yakındır. Şu anda plan aşamasındaki herhangi bir hızlandırıcının enerji seviyesinden yaklaşık on milyon kat daha büyüktür. GZK keskisi Einstein'ın özel görelilik kuramını etkili bir şekilde sınamaya olanak verir: Kuramı yapılmış ya da yapılabilecek herhangi deneyin erişebileceğinden çok daha yüksek enerji seviyelerinde test eder. GZK öngörüsünün yayımlandığı 1966 yılında iddia edilen üst limit enerjisinden çok daha düşük enerjili kozmik ışınlar gözlenebiliyordu, ama yakın zamanlarda bu sınır civarında hatta daha üstündeki enerjilere hassas cihazlar inşa edildi. Bunlardan biri Japonya'daki AGASA (Akeno Giant Air Shower Array) deneyi ve üst sınır enerjisi dolaylarında en az bir düzine gözlem yaptığını açıkladı. Gözledikleri enerji oldukça yüksek; 10^{20} eV ya da kabaca bir beysbol oyununda hızlı fırlatılan topun enerjisine denk ama bu kadar enerjiyi tek bir proton taşıyor!

Bu olgular çok çok yüksek enerjilerde özel görelilik kuramının çalışmaz hale geldiğini ima ediyor olabilirler. 1990'ların sonunda Sidney Coleman ve Sheldon Glashow özel göreliliğin bu tür bir geçersizliği durumunda pi mezonları yaratmak için gerekecek enerjinin de değişeceğini ve bunun sonucunda da

kozmik ışınların üst sınır enerjisinin GZK sınırından çok daha yukarıda olacağına işaret ettiler.[12]

Bu çok yüksek enerjili kozmik ışınların gözlenmesini açıklamanın tek yolu değil. Eğer dünyaya yakın oluşuyorlarsa ardalan ışınımıyla o kadar uzun süre etkileşip yavaşlıyor olamazlar. Eğer bu protonların gökyüzünün özel bir bölgesinden geldiği gözlenirse bu yaklaşıma destek olacaktır. Henüz böyle bir açısal fark gözlenmiş değil ama yine de bir olasılık olarak duruyor.

Öte yandan kozmik ışınlar protonlar yerine daha ağır ve kararlı henüz bilinmeyen bir parçacık da olabilir. Bu durumda bahsi geçen üst sınır haliyle çok daha yukarda olabilir. Eğer böyleyse, kozmik ışınlar fiziği çok önemli bir keşfe yol açacaktır.

Tabii ki deneylerde de yanlışlar olması muhtemeldir. AGASA araştırma grubu enerji ölçümlerinin yaklaşık yüzde yirmi beşlik bir hata payı içerdiğini ifade ediyorlar. Bu oran çok yüksek gözükse de ortalama değerin yüksekliği gözlemini geçersizleştirecek bir seviyede değil ve gördükleri en enerjik kozmik ışınları dışlamaz. Ama deneylerinin hata payını yanlış tahmin ediyor olabilirler.

Şansımıza, yeni bir deney bu sorulara cevap verebilecek: Batı Arjantin'deki pampalarda yer alan Auger kozmik ışın dedektörü. Eğer Auger dedektörü Japon deneyinin bulgularını onaylarsa ve eğer diğer açıklama yöntemleri dışlanabilirse son yüzyılın en önemli buluşuna tanık olacağız; 20. yüzyıl bilimsel devriminin merkezini oluşturan temel kuramların geçerlilik alanları ilk defa daralacak.

Peki, bu kadar yüksek enerjili kozmik ışınları gözlemek nasıl mümkün oluyor? Bu tür bir parçacık atmosferin üst tabakasına çarptığında yeryüzünde oldukça geniş bir alana dağılan bir parçacıklar huzmesi oluşturuyor. Auger deneyi, Arjantin pampalarında yaklaşıl üç bin kilometrekarelik bir alana dağıtılmış yüzlerce dedektörden oluşuyor. Birçok yüksek çözünürlüklü algılayıcı da bu parçacıklar huzmesinin oluşturacağı ışığı yakala-

[12] S. Coleman ve S.L. Glashow, "Cosmic Ray Neutrino Tests of Special Relativity," *Phys. Rev. B*, 405:249-52 (1997); Colemand and Glashow, "Evading the GZK Cosmic-Ray Cutoff," hep-ph/0908446.

mak üzere gökyüzüne bakıyor. Auger araştırmacıları, bütün bu sinyalleri birleştirerek huzmeye yol açan kozmik ışının enerjisini ve geldiği yönü belirleyebiliyorlar.

Bu kitap yazılırken, Auger gözlemevi ilk verilerini henüz yayımladı. Verilere göre deney enstrümanları iyi çalışıyor ve bu iyi bir haber ama henüz özel görelilik kuramını sınayacak kadar sayıda veri yok. Yine de birkaç yıl sonra bu soruya kesin bir cevap verebileceklerini umuyoruz.

Auger deneyi özel görelilik kuramının bahsi edilen yüksek enerjilerde de geçerli kaldığını gösterse bile bu son yirmi beş yılın en önemli deneysel bulgularından biri olacaktır; yani protonun bozunmadığının gözlenmesinden beri (4. Bölüm). Kuramın deneyin yol gösterici ışığı olmadan yol aldığı uzun dönem bitecektir. Ama eğer Auger deneyi özel görelilik kuramının *tam olarak* doğru olmadığını kanıtlarsa temel fizik yepyeni bir çağa girecektir. Bu tür bir devrimsel değişimin bizi nerelere götüreceğini incelemekte fayda görüyorum.

14. EINSTEIN TAŞI ÜZERİNE İNŞA ETMEK

Varsayalım ki Auger projesi ya da başka bir deney Einstein'ın özel görelilik kuramının geçersizliğini kanıtladı. Bu sicim kuramı için kötü bir haberdir: En popüler "her şeyin kuramı" 21. yüzyılın en önemli deneysel bulgusunu tamamen gözden kaçırmış olacaktır. Sicim kuramı özel göreliliğin Einstein'ın yüz yıl önce yazdığı haliyle doğru olduğunu kabul eder. Eh, sicim kuramının en önemli başarısı da sicimler içerecek bir kuramı hem kuantum hem de özel görelilik fikirleriyle uyumlu yapabilmesidir. Kısacası sicim kuramı enerjisi ne olursa olsun ve kaynağı ne kadar uzakta olursa olsun her ışık parçacığının aynı hızla hareket edeceğini söyler. Önceden gördüğümüz gibi sicim kuramı pek fazla öngörüde bulunamıyor, ama bu tam da bir öngörü. Sicim kuramının elimizdeki teknolojiyle sınanabilecek neredeyse tek öngörüsü.

Özel görelilik kuramının önermelerinin yanlışlanması ne anlama gelecektir? İki olasılık düşünebiliriz. Bunlardan birincisinde özel görelilik kuramı yanlıştır ama ikincisi özel göreliliğin daha da derinleşmesine yol açacaktır. Bu aradaki fark geçen on yılda fizikte öne sürülen yeni fikirlerden en şaşırtıcısının öyküsünü oluşturuyor.

Özel göreliliğin terkine ya da değiştirilmesine yol açabilecek birçok deney var. Auger deneyi bunlardan biri, ama aynı sonuca gamma ışını patlamalarını gözleyerek de ulaşabiliriz. Bunlar birkaç saniye için bir galaksi kadar ışık yayabilen devasa patlamalardır. İsminden de anlaşılacağı gibi enerjisinin büyük kısmı gamma ışınımından yani çok yüksek enerjili fotonlardan oluşur. Bu türden patlamaları günde ortalama bir kez kaydediyoruz. İlk defa 1960 yılında yasadışı nükleer denemeleri izleyen askeri uydular tarafından gözlendiler. Şimdi tek görevleri onlara bakmak olan bilimsel uydular var.

Gamma ışını patlamalarının tam sebebini henüz bilmesek de, akla yatkın kuramlar mevcut. İki nötron yıldızının ya da bir nötron yıldızı ile bir karadeliğin çarpışması sonucunda oluşabilirler. Her iki durumda da iki ortak birbirleri etrafında milyarlarca yıldır dönüyor olacaktır ama bu tür yapılar kararsızdır. Kütleçekim dalgaları yayarak enerji kaybederler ve birbirlerine doğru spiral çizerek yaklaşırlar. Nihayetinde çarpıştıklarında bilinen en şiddetli olaylardan biri gerçekleşecektir.

Einstein'ın özel görelilik kuramına göre frekansı ne olursa olsun ışık boşlukta hep aynı hızda yol alır. Gamma ışınımı patlamaları bu önermeyi sınamak için elverişli bir sistemdir çünkü çok kısa bir sürede geniş bir enerji yelpazesine yayılmış fotonlar yayarlar. Daha da önemlisi, uzaklıkları yüzünden bu fotonların bize ulaşması milyarlarca yıl alabilir ve tam da bu olgu deneysel yaklaşımın kalbini oluşturuyor.

Bir an için Einstein'ın yanlış olduğunu ve değişik frekanstaki fotonların boşlukta farklı hızlarda yol aldığını kabul edelim. Eğer uzak bir sistemde aynı anda yaratılmış iki foton bize farklı zamanlarda ulaşırsa bu kesinlikle özel görelilik kuramının yanlış olduğunu gösterecektir.

Böyle büyük bir keşif ne ifade eder? Haliyle kuramın kırılmasının hangi enerji seviyesinde gerçekleştiği birincil önemdedir. Özel göreliliğin geçersiz hale gelebileceğini düşünebileceğimiz seviyelerden biri Planck uzunluğudur. Geçen bölümden hatırlarsak Planck uzunluğu protonun boyutunun yaklaşık 10^{20}'de biri kadardır. Kuantum kuramı bu seviyenin altında uzayzamanın klasik resminin parçalanacağını ima ediyor. Özel görelilik kuramı da bu klasik yapıya bağlı olduğundan bu seviyenin altında geçersizleşeceğini düşünmek doğaldır.

Acaba herhangi bir deney Planck uzunluğu civarında uzayın ve zamanın yapısındaki bu tür bir değişimi gözleyebilir mi? Modern elektronik araçlar fotonların geliş zamanları arasındaki ufacık farkları ayırt edebiliyor ama bu araçlar gerçekten de kuantum kütleçekim kuramına hassas olabilirler mi? On yıllar boyunca biz kuramcılar Planck seviyesinin herhangi bir deneyle erişmek için çok küçük olduğunu söyledik durduk. Yüz yıl

önce de kuramcılar atomlar için aynı savları öne sürüyorlardı. Bu savları sayısız makale ve derslerle desteklemeye çalıştık. Fakat bu doğru değil.

Enteresandır, Planck seviyesindeki olguları inceleyebileceğimizi ancak 90'lı yılların ortalarında anladık. En başta az sayıda insan bunun farkına vardı ama bazen olduğu gibi fikirlerini yayımlamaya çalıştıklarında küçük görüldüler. Bunlardan biri Paris'teki Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi üyelerinden İspanyol fizikçi Luis Gonzales-Mestres'tir. Bu tür fikirler nihayetinde birisi herkesi ikna edecek bir şekilde ifade edene kadar defalarca farklı şekillerde keşfedilirler. Bu örnek çerçevesinde bu birisi, Roma Üniversitesinden Giovanni Amelino-Camelia oldu. Şu anda kırklı yaşlarının ortasında olan Amelino-Carmina fizik konusunda tutkulu, çalışkan ve dikkatlidir ve güneyli bir İtalyan'dan beklenebilecek tüm ateşe ve karizmaya da sahiptir. Kuantum kütleçekim camiası onun gibi bir üyeye sahip olduğu için çok şanslı.

Amelino-Camelia Oxford'da doktora sonrası araştırmacıyken Planck seviyesinde geçerli fiziği gözleyebilmenin yolları üzerine düşünmeye başladı. O zamanlar bu delice bir istek gibi gözüküyordu ama o bir yol bularak o zaman geçerli görüşün yanıldığını göstermeyi kendine amaç edindi. Proton bozunumu deneylerinden ilham almıştı. Proton bozunumunun (4. Bölüme bakınız) son derece ender gerçekleşen bir olay olduğu öngörülmüştü. Yine de eğer yeterince fazla proton izlenirse makul süreler çerçevesinde birkaç bozunum gerçekleşmelidir. Bu çok sayıdaki proton bu son derece ender olayı gözlemek için bir tür büyüteç gibi işlev görür. Amelino-Camelia kendine Planck seviyesini gözleyebilmek için ne tür bir büyüteç kullanması gerektiğini sordu.

Bu tür iki olgudan daha önce bahsetmiştik: kozmik ışınlar ve gamma ışınımı patlamaları. Her iki durumda da evrenin kendisini büyüteç olarak kullanabiliriz. Evrenin büyüklüğü ender olayların toplam sayısını artıracaktır ve ışığın bu uzunlukları aşması için gereken süreler ufak tefek farklılıkları ölçülebilir hale getirecektir. Özel görelilik kuramının bu tür deneylerle sı-

nanabileceğini söylemiştik. Sonuçta Amelino-Camelia Planck seviyesini yani kuantum kütleçekimi gözleyecek deneyler tasarlayabileceğimizi göstermişti.

Kuantum kütleçekim yüzünden fotonların hızında gerçekleşecek farklılıklar son derece küçüktür. Ama gamına ışınımı patlamalarında oluşan fotonlar milyarlarca yıl hareket ettiklerinden bu küçük etki eklenerek oldukça büyük zaman farklarına yol açabilir. Birkaç yıl önce fizikçiler kaba tahminler üzerinden bu farklılıkların yaklaşık olarak saniyenin binde biri civarında olması gerektiğini fark ettiler. Bu ufacık bir fark gibi gözükse de günümüz elektronik araçları için gözlemsel hiç sorun teşkil etmez. En son teknoloji ürünü bir gamma ışınımı dedektörü olan GLAST'ın hassasiyeti bu mertebededir. 2007 yılında fırlatılması planlandı ve sonuçları heyecanla bekliyoruz.

Kavramsal baraj Amelino-Camelia ve meslektaşları tarafından yıkıldıktan sonra Planck seviyesini gerçek deneylerle sınamanın yepyeni yollarını bulduk. Amelino-Carmelia'nın çılgın sorusu saygı değer bilime dönüştü.

Peki, diyelim ki Planck seviyesindeki fiziğin özel görelilik kuramına uymadığı bulundu. Bu uzayın ve zamanın doğası hakkında bize neler söyleyebilir?

Bu bölümün başında söylediğimiz gibi iki olasılık var. Ya sabit hızlı hareketlerin göreliliği kavramı yanlışlanacak ve mutlak hareketsizlik tutarlı bir şekilde tanımlanabilecek. Bu Galileo'dan beri fiziğin merkezinde yer etmiş bir ilkeyi terk etmemiz anlamına gelecek. Şahsen bu olasılığı çok itici buluyorum ama bir bilimci olarak bunun gerçek bir olasılık olduğunu kabul ediyorum. Aslında Japonların kozmik ışın deneyi olan AGASA'nın ilk sonuçları değişmeden kalırsa böyle bir olgu çoktan gözlenmiş demektir.

Peki bu, çelişkiyi gidermenin tek yolu mu? Birçok fizikçi eğer iki farklı foton boşlukta değişik hızla hareket edecekse özel görelilik kuramının yanlış olması gerektiğini söyleyecektir. On yıl önce ben de bunu söylerdim. Ama yanılmış olurdum.

Einstein'ın özel görelilik kuramı iki kabule dayanır. Bunlardan birisi hareketin göreliliği diğeriyse ışık hızının sabitliği-

dir. Acaba ilk kabul doğru ikincisi yanlış olabilir mi? Eğer bu mümkün olmasaydı Einstein'ın iki kabul yapmasına gerek kalmazdı. Ama gördük ki son zamanlara kadar bilimciler sadece ikinci kabulün değiştirildiği tutarlı kuramlar kurulabileceğini fark etmediler. Bu tür kuramlar gerçekten de kurgulanabilir ve bunlar üzerinde araştırma yapmak kariyerimdeki en heyecan verici çalışmalardandı; parçası olduğum için kendimi şanslı görüyorum.

Bu yeni kuram *deforme* olmuş ya da *çifte özel görelilik* kuramı olarak adlandırılıyor; kısaca DSR diyoruz. Bir çelişkiye yol açıyor gibi gözüken bir sorudan kaynaklanıyorlar.

Söylediğimiz gibi Planck uzunluğunun altında kökeninde kuantum kuramı yatan yeni geometrilerin olmasını bekliyoruz. Kuantum kütleçekim hakkındaki değişik yaklaşımlar bir konuda fikir birliği içindeler: Planck uzunluğu olabilecek en küçük nesnelerin büyüklüğü olmalı. Soru şu: Acaba bütün gözlemciler bu en kısa uzunluğu aynı mı ölçerler?

Einstein'ın özel görelilik kuramına göre değişik gözlemciler hareket eden nesnelerin uzunluklarını değişik ölçerler. Bir metrelik bir cetvel üzerinde onunla hareket eden bir gözlemci bunun bir metre boyunda olduğunu söyleyecektir. Ama ona göre hareket eden başka bir gözlemci cetvelin uzunluğunu bir metreden kısa ölçecektir. Einstein bu olguya *uzunluk büzülmesi olgusu* adını verdi.

Ama buna göre "en kısa uzunluk" diye bir kavram olamaz. Bir cetvel ne kadar kısa olursa olsun ona göre hareket ederek daha kısa ölçülmesini sağlayabiliriz. Özel görelilik kuramı ile Planck uzunluğu arasında bir tezat olduğunu görüyoruz.

Kuantum kütleçekim sorunuyla profesyonel bir şekilde uğraşan herhangi birinin bu çelişkiye bir şekilde rastladığını hatta parlak bir lisans öğrencisinin bile bu sorunu ortaya atmış olabileceğini düşünebilirsiniz. Sonuçta sicim kuramı üzerinde çalışan tüm fizikçiler hayatlarına saf üniversite öğrencileri olarak başladılar. Hiç olmazsa birkaçı bu soruna denk gelmiş olamaz mı? Ama benim bilgime göre yakın zamanlara kadar çok azı bunun farkına vardı.

Bunlardan biri Giovanni Amelino-Camelia'dır. 1999 yılında bahsini ettiğimiz çelişkiyi fark etti ve bir çözüm önerdi. Fikri Einstein'ın özel görelilik kuramının temelinde yatan kavramı genişletmeye dayanıyordu.

Özel görelilikte ışık hızının evrensel bir sabit olduğunu söyleyen kabul sanki kendisiyle çelişki içindeymiş gibi görünür. Neden? İki gözlemci tarafından betimlenen bir foton düşünelim. Bu iki gözlemcinin birbirlerine hareket içinde olduğunu kabul edelim. Bu durumda ikisinin foton için değişik hızlar ölçmesini bekleriz, çünkü sıradan nesneler bu şekilde davranırlar. Eğer ben saatte 140 kilometreyle giden bir arabadan öndeki otobüsü bana göre saatte on kilometre hızla uzaklaşıyor görüyorsam, yol kenarında hareketsiz duran bir gözlemci otobüsün hızını saatte 150 kilometre olarak ölçecektir. Ama aynı şartlar altında bir foton betimlenecekse özel görelilik kuramına göre yol kenarındaki gözlemci benim ölçtüğümle aynı hızı bulacaktır.

Peki bu neden gerçekten bir çelişki değil? Kilit nokta şu: hızın kendisi dolaysız olarak ölçülebilen bir büyüklük değildir. Hız bir orandır: Belli bir zamanda katedilen belirli bir uzaklığın ifadesidir. Einstein'ın temel fikri değişik gözlemcilerin uzayı ve zamanı değişik şekillerde ölçtükleri ve bu farkların oran alındığında kaybolduğu ve sonucunda da ışık hızının evrensel bir sabit olarak ölçüldüğüydü.

Ama eğer bir sabit için böyle bir mekanizma mevcutsa diğerleri, örneğin uzunluklar, için de bu tür bir mekanizma olabilir miydi? Genel olarak biliyoruz ki hareket eden cetveller hareketsiz hallerine göre daha kısa ölçülürler. Ama bir şekilde mekanizmaları ayarlayıp Planck uzunluğunda bir cetvelden bahsettiğimizde hareketi ne olursa olsun tüm gözlemcilerin bu cetveli aynı uzunlukta ölçmelerini sağlayabilir miyiz? Bu durumda elimizde biri hız diğeri uzunluk boyutunda iki sabit olmaz mıydı?

Einstein oran mekanizmasıyla olayı kotarmıştı çünkü hiçbir nesne ışıktan hızlı gitmez. Doğada iki tip nesne vardır: Işık hızında gidenler ve ışık hızından daha yavaş hareket edenler. Eğer tek bir gözlemci bile bir nesneyi ışık hızında gözlediyse diğer tüm gözlemciler hemfikir olacaktır.

Amelino-Camelia'nın fikri aynı mekanizmayı uzunluk için kurgulamaktı. Gözlemcilerin uzay ve zamanı betimleyişleri arasındaki farklılıkları öyle bir ayarlamayı düşünüyordu ki sonunda hiçbir uzunluğun Planck uzunluğundan kısa olmamasını sağlayacaktı.

Amelino-Camelia özel görelilik kuramını bu şekilde değiştiren bir çerçeve keşfetti ve buna *çifte özel görelilik* adını verdi. Bu ismi seçmesindeki neden özel göreliliği özel yapan mekanizmanın iki defa işliyor olmasıydı. Planck seviyesini gözlemek için deneysel tasarılar arama çabalarını izliyordum ama 2000 yılında iki kere özel görelilik kuramını gösteren makalesini dağıttığında ilk başta ne dediğini anlamadım.[1]

Bu yeteri kadar utandırıcı bir durum, ama daha da utandırıcı olanı vardı. Yaklaşık on yıl önce aynı çelişkiye ben de denk gelmiştim: *İlmek kuantum kütleçekim* olarak adlandırılan bir kuantum kütleçekim kuramı üzerine çalışırken farkına varmıştım. Detaylar o kadar önemli değil, ilmek kuantum kütleçekim üzerine çalışırken hesaplarımızın özel görelilikle uyuşmadığını görmüştük. Şu anda anlıyorum ki bu hesaplar gerçekten de özel görelilikle uyumsuzdu. Ama zamanında bu düşünmesi o kadar korkutucu bir durumdu ki biraz çabaladıktan sonra o alandaki tüm araştırmamı terk ettim. Gerçekten de bu durum ilmek kuantum kuramını bırakıp sicim kuramına yönelmeme neden olan birkaç olaydan ilkiydi.

Ama bırakmadan hemen önce özel göreliliğin evrensel bir Planck sabiti kavramını kapsayacak şekilde genişletilip genişletilemeyeceği üzerinde biraz düşünmüştüm. Bu fikir, çifte özel göreliliğin temelindeydi ama bu keşfi yapacak kadar yaratıcı olamamıştım. Biraz düşündüm, bir yere varamadım ve sonunda da başka konulara yöneldim. Amelino-Camelia'nın makalesini on yıl sonra ilk defa gördüğümde bile bu süreci hatırlayamadım. Fikre başka bir açıdan yönelmem gerekecekti. O sırada Londra Imperial College'da ziyaretçi profesördüm ve iyi bir bi-

---

1 G. Amelino-Camelia, "Testable Scenario for Relativity with Minimum-Length," hep-th/0012238.

limci olan Portekizli Joao Magueijo ile yeni tanışmıştım. Hem Amelino-Camelia'yla aynı yaştaydı hem de onunki kadar yoğun bir Latin mizacı vardı.

Joao Magueijo'nun çılgın bir fikri vardı: Işık erken evrende daha hızlı yol almış olabilirdi. Bu fikir tüm şişme kavramını gereksiz kılıyordu çünkü erken evrendeki her bölgenin nasıl sebep-sonuç ilişkisi içinde ve sonuç olarak aynı sıcaklıkta olabileceğini açıklıyordu. Bu durumda da erken evrende üstel bir hızda şişmeye gerek kalmıyordu.

İyi ama fikir delice; gerçekten delice. Hem özel hem de genel görelilik kuramıyla çelişiyor. "Kafirce" demek tam yerinde olur. Yine de İngiliz akademik dünyasının kafirlere bir zayıflığı vardır bu yüzden de Magueijo, Imperial College'da gayet iyi durumdaydı. Eğer Birleşik Devletler'de olsaydı bu fikirleri doktora sonrası araştırmacı olarak işe alınmasını engellerdi diye düşünüyorum.

Magueijo fikrini yine Imperial College'da genç bir profesör olan Andreas Albrecht'le çalışarak ilerletmişti. Albrecht, Pennsylvania Üniversitesinde lisansüstü öğrencisiyken şişme kuramının mucitlerinden biri olmuştu. Albrecht, Amerika'ya yeni dönmüştü. Ben Imperial College'a geldikten birkaç ay sonra Magueijo kapımı çaldı. Değişken ışık hızı (DIH) içeren kozmolojiyi özel ve genel görelilikle uyum içine sokmanın yolu olup olamayacağını görmek istiyordu. Bir şekilde, benimle konuşmanın yardımı olacağını düşünmüştü.

O sırada bunun çoktan yapılmış olduğunu bilmiyordum. Aslında bütün DIH kozmolojisi Torontolu yaratıcı bir fizikçi olan profesör John Moffat tarafından kurgulanmıştı. Çok daha kafir olan Moffat fikri bulmuş ve özel ve genel görelilikle uyumlu hale getirmişti ama yayın aşamasında reddedilmişti.

Joao, 2003 yılında yayımlanan, *Işık Hızından Hızlı* adlı kitabında söylediği gibi, Moffat'nın çalışmasından Albrecht'le beraber yazdıkları makaleyi yayımlamaya çalışırken haberdar olmuşlardı.[2] Benimle konuşmaya geldiğinde bu çalışmayı bili-

---

[2] Joao Magueijo, *Faster Than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation* (New York: Perseus Books, 2003).

yordu ama kendi sorununa çözüm içerdiğini o sırada anlamış olduğunu düşünmüyorum. Eğer anlamış olsaydı bile en azından sorunun çözülüş şeklini beğenmemişti.

John Moffat şu anda, benimde bir üyesi olduğum Perimeter Kuramsal Fizik Enstitüsünde bulunuyor. Yaratıcılık ve cesaret konusunda onun kadar saygı duyduğum başka kimse yok. Amelino-Camelia'yı da Planck seviyesini gözleme çabaları sürecinde ortaya attığı fikirler üzerinden çok takdir ettiğimi söylemiştim. Joao'yla beraber onların çalışmalarını göz ardı etmiş olmamızdan çok üzüntü duyuyorum. Aslında bu iyi oldu çünkü DIH kuramlarını görelilik kuramlarıyla bağdaştırmanın başka bir yolunu bulmuştuk. Daha önce çözülmüş olduğunu –hem de iki kere-- bilseydim bu yönde hiç çaba göstermezdim.

Joao beni birçok kez ziyaret etti ve hep bu konuda konuştuk. Ona hep zaman ayırmaya çalıştım çünkü enerjisinden ve fiziğe getirdiği yeni açıları çekici bulmuştum. Ama aylar boyunca söyledikleri hakkında derinlemesine düşünmedim. Kırılma bana aynı soruya parmak basan eski kitabı gösterdiğinde gerçekleşti. Bu, ünlü Rus fizikçi Vladimir Fock'un genel görelilik üzerine bir ders kitabıydı.[3] Fock'un kuantum alan kuramı üzerine olan çalışmalarından bazılarını biliyordum (tüm fizikçiler bilir), ama görelilik üzerine olan kitabını hiç görmemiştim. Joao'nun bana bahsettiği sorun Fock'un kitabında bir ödev sorusuydu. Bunu gördüğüm anda, on yıl önceki fikirlerimi hatırladım ve her şey yerine oturdu. Fikrin temeli özel göreliliğin temel ilkelerini tutmak ama kuralları tüm gözlemcilerin ışık hızı *ve* Planck uzunluğunu evrensel olarak betimlemesini sağlayacak şekilde değiştirmekti. Bu durumda sabit olan hız tüm fotonların değil, sadece çok düşük enerjili olanların hızı oluyordu.

En başlarda bu fikirle nerelere varabileceğimizi pek göremedik. Elimizde bir öykü, bir iki parça matematik vardı ama tam bir kuram yoktu. Bu sıralarda bir seyahat esnasında Roma'ya gittim ve Giovanni Amelino-Camelia'yla saatlerce konuştuk.

3 Vladimir Fock, *The Theory of Space, Time and Gravitation* (London: Pergamon Press, 1959).

Birdenbire ne demek istediğini anladım. Bizle aynı fikirlere daha önce varmıştı ve bunları ilk neticelendiren de oydu. Yine de bunu nasıl yaptığı hakkında anlamadığım pek çok detay vardı. İşin matematiği karmaşık gözüküyordu ve Polonyalı bir grup matematiksel fizikçinin on yıl önce icat ettiği (benim anlayamadığım) bir yaklaşımla ilintili gibiydi.

İşin matematiksel inceliklerini anlamam yıllar aldı. Kuantum gruplarının mucitlerinden Shahn Majid'in ilk çalışmalarını okuyana kadar da hiç yol katedemedim. Majid'in çalışmaları Polonyalı gurubun kullandığı matematiğe çok yakındı. Majid işe kuantum kuramının ve göreliliğin öngörülerini birleştiren matematiksel bir yapı arayarak başladı ve nihayetinde kuantum gruplarına (bunlar simetri fikrinin devrimci bir şekilde değiştirilmesidir) vardı. Buradan da görelilik kuramlarının geçişli olmayan geometriler üzerinde kurgulanan genişletilmiş hallerini buldu. Fikirleri DIH kuramları için gereken matematiksel yapının merkezini oluşturuyordu. Bunlar bu konuda ilk gördüğüm karmaşık makalelerde kaybolmuş gibi duruyordu; en azından benim için.

Neyse, Joao ve ben ilk adımda matematiği boş verip konunun fiziğine yoğunlaştık. Çalışmamız Kanada'da yeni kurulan Perimeter Enstitüsüne 2001 yılında taşınmamla beraber yarıda kesildi. Bir ay sonra Joao Perimeter'a enstitünün ilk ziyaretçisi olarak geldi. Kuramımız geldiği günün akşamüstünde neredeyse tamamlanmıştı. Waterloo'da rahat koltukları olan Symposium adlı kahvede çalışıyorduk. Joao uçak yolcuğundan bitap düşmüştü. Bense New York'tan yeni dönmüştüm ve hâlâ 11 Eylül olaylarının travması altındaydım. Joao konuşurken uyuya kaldım ve uyandığımda da onu kestirirken buldum. Tam bilincimi yitirirken söylemiş olduğu bir şeyi hatırladım ve biraz hesap yaptım sonra yine uyudum. Konuşmaya başladığında yeniden uyandım ve o tekrar uyuyana kadar birkaç dakika konuştuk. Hesap yaptık, dönüşümlü olarak kestirdik, konuştuk ve öğleden sonra böyle geçip gitti. Kahve çalışanlarının neler düşündüğünü ancak tahmin edebilirim. Ama bir noktada geçen aylar boyunca hep gözden kaçırdığımız bir kavramı algıladık: Konumlar ile

gidimler arasında değiş tokuş yapabilirdik. Bitirdiğimizde çifte özel göreliliğin ikinci şeklini bulmuştuk. Amelino-Camelia'nın bulduğundan çok daha basitti. Şimdi DSR II olarak anılıyor.

Joao'nun istediği kabaca buydu. Bizim kuramımızda daha enerjili olan fotonlar daha hızlı hareket ediyorlardı. Yani sıcaklığın çok yüksek olduğu çok erken evren döneminde fotonlar ortalama olarak bugünkünden daha hızlıydı. Zamanda geri giderek Planck enerjilerine vardığımızda ışık hızı sonsuz oluyordu. Bunun genel görelilikle de uyumlu olan bir değişken ışık hızı kuramına yol açtığını göstermek biraz daha uzun sürdü ama sonunda becerdik. Bu kuramı Thomas Pynchon'un aynı adlı romanından ilham alarak *Kütleçekimin Gökkuşağı* adını verdik.

"Çifte özel görelilik" bir kuram için aptalca bir isim ama takıldı kaldı. Fikir zarif ve artık oldukça tartışıldı ve araştırmalara konu oldu. Doğayı temsil edip etmediğini bilmiyoruz ama kuram hakkında bildiklerimizden bunun gerçekçi bir olasılık olduğunu söyleyebiliyoruz.

DIH hakkındaki ilk tepkiler hiç de cesaret verici değildi. Bazıları tutarsız olduğunu, bazıları da Einstein'ın özel görelilik kuramını ifade etmenin son derece karmaşık bir yolu olduğunu iddia ettiler; bazılarıysa ikisini birden.

İkinci eleştiriye kuramın özel görelilikten farklı öngörüleri olduğunu göstererek yanıt verdik. Bu tartışmalarda anahtar rolü Varşova'da yaşayan oldukça kültürlü biri ve bir heavy-metal hayranı olan Jerzy Kowalski-Glikman oynadı. (Belki de gerçekten sadece bir Avrupalı bu ikisini kendinde barındırabilir.) Sanıyorum Giovanni Amelino-Camelia'nın dediklerini ilk anlayan o oldu. Onun makalelerini anlıyordum, kısa ve net yazılmışlardı. Giovanni'nikilerse uzun, küçük karakterlerle yazılmış ve detaylarla doluydu. Jerzy çifte özel göreliliğin önemli sonuçlarından çoğunu buldu ve Polonyalı meslektaşlarının matematiksel çalışmalarıyla bizim çabalarımız arasındaki bağı ilk ortaya çıkaran da o oldu.

DIH ve onun hakkındaki yaklaşımların nasıl bağlantılı olduğunu fark etmemi sağlayan önemli bir olay kız arkadaşımın Toronto'daki evinde gerçekleşen bir bilimsel tartışma sırasın-

da gerçekleşti. Evdeki küçük bir masa etrafına ben, Giovanni, Jerzy ve Joao sığışmış, fikir ayrılıklarımızı ve yanlış anlamalarımız üzerinde konuşuyorduk. Jerzy sakince eğer azıcık da olsa anlamlı bir şey yapacaksak tutarlı bir matematiksel yapıya oturması gerektiğini söylüyordu. Onun için bu yapı Polonyalı arkadaşlarıyla çalışmış olduğu geçişli olmayan geometri üzerine kurulmalıydı. Joao fizikle alakalı her şeyin havalı matematik olmadan da anlaşılabilmesi gerektiğini iddia ediyordu. Giovanni de hangi matematiksel ifadelerin hangi gözlenen büyüklüklere karşılık geldiğinden emin olmazsak bu kuramlar çerçevesinde sadece zırvalayabileceğimize parmak bastı. Bir ara –hangi olay bunu tetikledi hatırlamıyorum– Giovanni kocaman ekmek bıçağını kaptı ve "Eğer dedikleriniz doğruysa boğazımı keserim. *Şimdi*!" diye uludu.

Ona bakakaldık, şok ve sessizlik içinde geçen bir andan sonra o da dahil olmak üzere kahkahalara boğulduk. O andan sonra hepimiz diğerlerini dinlemeye hazırdık.

Aslında, DIH kuramlarının farklı öngörüler içeren birçok değişik hali var. Bazılarında aşılamaz bir enerji seviyesi var tıpkı ışık hızı gibi. Bazılarında maksimum bir enerji yok ama maksimum bir gidim var. Bu üzücü bir durum çünkü genel olarak DIH kuramlarının öngörü yeteneğini kısıtlıyor ama onların tutarlılığını bozmuyor. Kısacası alışmak zorunda olduğumuz bir durum.

DIH kuramının tutarlılığı geçerli olacağı bir evrenin olası olduğunu göstermekten ibaret. Bu bahsi geçen evren bizimkine benziyor ama sadece iki uzay boyutu var. 1980'lerde sadece iki uzay boyutunda kuantum kütleçekimin kesin olarak tanımlanabildiği gösterilmişti. Buna *2+1 kuantum kütleçekim* diyoruz, iki uzay ve bir zaman boyutuna atfen. Dahası eğer madde yoksa kuramın tam çözümü var: Sorulan her soru için kesin bir matematiksel ifade bulunabiliyor.

Madde olsun olmasın DIH kuramının iki uzay boyutunda geçerli olması gerektiği gösterilebilir. Bu DIH tam da Giovanni'nin bulduğu yapı. Jerzy'yle beraber geriye yönelik literatür araştırması yaptığımızda bu iki boyutlu dünyanın DIH'a benzeyen özelliklerini birçok araştırmacının bulduğunu gördük. Heye-

canlanıp bu bulgumuzu Perimeter'da meslektaşımız olan Fransız Laurent Freidel'a söyledik. Bize bunu zaten epeydir bildiğini ifade etmekle kalmadı ayrıca bize önceden söylemeye çalıştığını belirtti. Bunda tam emin değilim. Tartışmalarda Freidel benden çok daha fazla enerjiye sahip ve genellikle ne dediğini tam anlayamıyorum. Bunun üzerine de o daha hızlı ve daha yüksek sesle konuşmaya başlıyor. Yine de beraber bir makale yazıp iki uzay boyutu olan evrenlerde DIH kuramının neden geçerli olması gerektiğini gösterdik.[4]

Bundan biraz sonra, Freidel, Perimeter'da doktora sonrası araştırmacı olarak bulunan Fransız-Tahitili Etera Levine ile maddenin varlığında 2+1 boyutlu kütleçekim kuramını içinde DIH fikrinin nasıl gerçekleştiğini gösterdiler.[5] Bunlar önemli sonuçlar çünkü olası bir dünyanın modeli olarak önümüze çıktığında DIH'ın tutarlılığı da ispatlanmış oluyor.

Bundan sonra DIH'ın iyi bir kuram olarak kabul etmeden önce çözülmesi gereken bir problem daha kalmıştı. Dediğimiz gibi birçok DIH formunda bir parçacığın sahip olabileceği ve genel olarak Planck enerjisi olarak kabul edilen, maksimum bir enerji değeri vardır. Deneysel olarak bu bir sorun teşkil etmiyor, çünkü şu ana kadar gözlenen en yüksek enerji AGASA kozmik ışın dedektöründe gözlenen Planck enerjisinin milyarda biri kadar enerjiye sahip protonlar.

İlk bakışta bu maksimum enerji sınırının her şeye uygulanması gerekir gibi geliyor: Sadece elektronlara ya da protonlara değil, yanı zamanda köpeklere, yıldızlara ve futbol topları da bu maksimum enerjiden daha azına sahip olmalılar. Bu açıkça doğayla çelişiyor çünkü içinde en az 10^{19} kadar proton barındıran her nesne Planck enerjisine sahip olacaktır. Köpeklerde yaklaşık 10^{25} proton vardır, yıldızlardaysa çok daha fazla. Buna *futbol topu* sorunu diyoruz.

---

[4] L. Friedel, J. Kowalski-Glikman ve L. Smolin, "2+1 Gravity and Doubly Special Relativity," *Phys. Rev. D*69:044001 (2004).

[5] E. Livine ve L. Friedel, "Ponzano-Regge Model Revisited III: Feynman Diagrams and Effective Field Theory," hep-th/0502106; *Class. Quant. Grav.*\ 23:2021-62 (2006).

Futbol topu problemi iki boyutlu dünyada var ama bu sorunu orada çözmemiz gereksiz çünkü deneylerimizi iki boyutta yapmıyoruz. O dünyada ne kadar parçacıktan oluşursa oluşsun her nesne gerçekten de Planck enerjisinden daha az enerjiye sahip olacak. Bu kesin.

Futbol topu sorununa, kendi üç boyutlu dünyamızda geçerli olacak doğal bir çözüm var. Bu çözümü ben ve Joao önceden ifade etmiştik. Fikir şundan ibaret: Her cisim için geçerli maksimum enerji içinde içerdiği proton kere Planck enerjisi kadar olacak. Bu durumda 10^{25} proton içeren bir futbol topu Planck enerjisinin 10^{25} katından daha fazla enerjiye sahip olamayacak. Bu durumda da gözlemlerle ilgili bir sorun kalmayacak.

Bu çözümün işleyeceğini görüyorduk ama neden doğru olması gerektiğini anlamıyorduk. Cevap Etera Levine ve yine Perimeter'da doktora sonrası araştırmacı olan Fransız Florian Girelli tarafından bulundu. Kuramı tekrar ifade etmenin çok güzel bir yolunu buldular ve çözüm kendiliğinde ortaya çıkıverdi.[6] Futbol topu sorunu böylece çözüldükten sonra DIH kavramının dünyamızda geçerli olabileceği önünde bir engel kalmamış oluyor. Önümüzdeki yıllarda Auger ya da GLAST deneyleriyle pekâlâ doğrulanabilir gözüküyor. En azından yanlışlanabilir olacaklar ki bu da DIH fikrinin gerçek anlamda bilimsel bir kuram olduğu anlamına geliyor.

Şimdi özel görelilik kuramının geçersizliği durumunda değişik kuantum kütleçekim kuramların neler ima edecekleri sorusuna geri dönelim. Dediğimiz gibi bu, deneylerin sonuçları üzerinden, iki değişik anlama gelebilir. Ya özel görelilik tam olarak geçersiz olacak ki bu da hareket ve hareketsizlik arasında kesin bir ayrım yapabileceğimiz anlamına gelir. Ya da özel görelilik DIH fikrinde olduğu gibi değiştirilerek korunacak.

Sicim kuramı bu iki olasılıktan herhangi birinden sağ kurtulabilir mi? Açıkçası, özel göreliliğin geçerliliğine son derece bağlı olduklarından bilinen tüm sicim kuramları yanlışlanmış

---

6 Florian Girelli ve Etera R. Livine, "Physics of Deformed Special Relativity," gr-qc/0412079.

olacak. Peki henüz bilinmeyen bir sicim kuramı bu tür bir değişiklikle uyumlu olabilir mi? Birçok sicim kuramcısının bana söylediğine göre özel görelilik kuramı yanlışlansa bile gözlemler ne verirse versin günün birinde onlarla uyumlu bir sicim kuramı pekâlâ bulunabilir. Muhtemelen haklılar. Sicim kuramı, belirttiğimiz gibi, gözlenmemiş pek çok alan içeriyor. Sicim kuramının ardalanını değiştirip özel göreliliği geçersizleştirecek ve hareketsizlik kavramını tutarlı bir şekilde tanımlamamızı sağlayacak birçok yol var. Belki de bahsini ettiğimiz olası deneylerle uyumlu bir sicim kuramı bu şekilde inşa edilecektir.

Peki DIH için ne diyebiliriz? Onunla uyumlu bir sicim kuramı olabilir mi? Bu kitabın yazıldığı ana kadar bu soruya sadece ben ve Joao Magueijo eğildik ve bulgularımız biraz karışık. Tutarlılık hakkında bazı sınamalardan geçen bir sicim kuramı oluşturduk ama diğer sınamalar hakkında tatmin edici cevaplar bulamadık.

Kısacası, bilinen tüm sicim kuramları özel görelilikle uyumlu olmasına rağmen, özel görelilik yanlışlansa dahi sicim kuramcıları bu bulguyla uyumlu kuramlar kurgulayabilirler. Beni şaşırtan sicim kuramcılarının bu tür bir bulgunun kendi ellerini güçlendireceğine dair duydukları inanç. Bence bu tür bir durum ancak sicim kuramının son derece fazla sayıda ardalan içeren değişik kuramların bir kümesi olması yüzünden hiçbir öngörüde bulunamamasına yeni bir delil gibi algılanabilir. GLAST ve Auger gözlemlerinde mercek altında olan uzay ve zamanın simetrileridir. Ardalana bağlı bir kuramda bu ardalanın seçimiyle kesin olarak kararlaştırılan bir özelliktir. Kuram elverdiği ölçüde ardalanı istediğimiz gibi seçerek istediğimiz sonuçları alabiliriz. Bu öngörüde bulunmaktan son derece farklı bir durum.

Kuantum kütleçekim üzerine diğer yaklaşımlar hakkında ne diyebiliriz? Bunlardan herhangi biri özel göreliliğin geçersizliğini öngörüyor mu? Ardalandan bağımsız bir kuramda durum çok farklıdır çünkü uzayzaman geometrisi bir ardalan seçerek oluşmaz. Bu geometri kuramı çözerek bulunur. Ardalandan bağımsız bir kuram uzay ve zaman bakışımları hakkında orijinal öngörülerde bulunmalıdır.

Daha önce tartıştığımız gibi, eğer sadece iki uzay boyutu olsaydı cevabı biliyoruz. Bir özgürlük yok, hesaplar parçacıkların DIH'a uygun şekilde davrandığını gösteriyor. Üç uzay boyutu olan gerçek dünyada da buna benzer bir çıkarım olabilir mi? İçgüdülerim bunun doğru olduğunu söylüyor: İlmek kuantum kütleçekim üzerine yapılan çalışmalar henüz ispat içermese de bu fikir üzerine deliller sunuyor. Bir kuantum kütleçekim kuramından gerçek bir öngörü bulup bunun deneylerle kesin şekilde yanlışlandığını görmek çok güzel olurdu. Bundan daha iyisi ancak deneyin öngörüyü doğrulaması olabilir. Her iki durumda da gerçek bilim yapıyor olurduk.

15. SİCİM KURAMINDAN SONRA FİZİK

Son iki bölümde, doğa yasalarının araştırılmasında dramatik gelişmeler beklemek için geçerli sebepler olduğunu gördük. Yakın gelecekte şaşırtıcı deneysel sonuçlara varabileceğimiz hakkında deliller var. Ve görelilik kuramının ilerici genişletilmeleri şu anda süren deneyler hakkında bile öngörüler sunuyor. Çifte özel görelilik kuramı doğru ya da yanlış olsun gerçek bilimdir çünkü şu anda süren deneyler onu ya yalanlayacak ya da doğrulayacaktır.

Son iki bölümde bahsettiğim deneyciler ve kuramcılar temel fizikte sicim sonrası bir dönemi çoktan başlattılar. Bu bölümde sizleri bu yeni dünyada bir geziye çıkaracağım. En ümit vaat eden fikirlere ve gelişmelere yoğunlaşacağız. Sicim kuramı ötesine baktığımızda, eski metotlarla yapılan sağlıklı temel kuram araştırmalarının tekrar hayata dönüşüne tanık olacağız: Temel sorunlar üzerinde yoğun ve zorlu fikir yürütmeleri ve matematik ile deneysel fizikte gerçekleşen gelişmeleri göz ardı etmeyen yaklaşımları tartışacağız. Bütün öncü alanlarda –kuantum kütleçekim, kuantum kuramının temelleri, temel parçacıklar fiziği ve kozmoloji– cesur yeni fikirler etkileyici yeni deneylerle el ele vermiş durumda. Bu yeni ve büyük ümit vaat eden hareketlere destek olmalıyız yoksa daha beşikte yok olacaklar.

Hızlı gelişme gösteren bir alanla başlayalım: Einstein'ın büyük keşfi olan uzayzaman geometrisinin dinamik ve arızi olmasının etrafından dolaşmak yerine bunu kucaklayarak kuantum kütleçekimi araştıran yaklaşımlarla.

Daha önce defalarca belirttiğim gibi, uzayda kıpırdaşan sicimlerden oluşmuş bir graviton kuramı yeterli değil. Uzayı *neyin oluşturduğunu* ifade eden ardalandan bağımsız bir kurama ihtiyacımız var. Söylediğimiz gibi genel göreliliğin başarısı uzayzamanın sabit olmamasını keşfetmiş olmasındadır. Uzay-

zaman dinamiktir ve zamanla evrimleşir. Bu, temel ve geri döndürülemez bir keşiftir ve her kuram bu özelliğe sahip olmalıdır. Sicim kuramı bunu sağlayamıyor, bu durumda eğer sicim kuramı doğruysa arkasında daha temel bir kuram barınıyor olmalı; ardalana bağlı olmayan bir kuram. Kısacası sicim kuramı doğru ya da yanlış olsa bile ardalandan bağımsız bir kuantum kütleçekim kuramı bulmalıyız.

Şansımıza, geçen yirmi yıldaki araştırmalar sonucu bu tür bir kuramı nasıl kurgulayabileceğimiz hakkında epey bilgiye sahibiz. Ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim çalışmaları 1986 yılında hızlandı; ilk sicim kuramı devriminden iki yıl sonra. Kolaylaştırıcı temel etken, o sıralar Syracuse Üniversitesinde çalışan Abhay Ashtekar'ın genel görelilik kuramı denklemlerini çok daha basitleştiren bir çalışmasıydı.[1] İlgi çekici olan şey, bu başarının kuramdaki değişkenlerin ayar kuramlarına –parçacık fiziğinin standart modelini oluşturan kuramlar– çok benzer şekilde ifade edilmiş olmasındadır.

Ne yazık ki, çoğu sicim kuramcısı son yirmi yıldır kuantum kütleçekim alanında gerçekleşen gelişmelere pek dikkat etmediler ve bu iki alan bağımsız şekilde gelişti. Bu iletişim kopukluğu dışardan bakan birine garip gelebilir. Bana da kesinlikle garip geliyor ve bu yüzden durumu tersine çevirebilmek üzere her iki alandakilere diğerinin meziyetlerini anlatmak için elimden geleni yaptım. Ama pek başarılı olduğunu söyleyemem. Aynı konu üzerinde değişik yaklaşımlarla çalışan bilimciler arasındaki iletişim kopukluğu beni fiziğin bir kriz içerisinde olduğuna ve bu durumu düzeltmek için düşünmeye inandırdı.

Kuantum kütleçekim üzerine olan araştırmalar sicim kuramına göre daha farklı bir atmosfere sahip. Büyük kuramlar, hevesler ya da modalar yok. Sadece birbirlerine bağlı birçok fikir üzerinde çalışan çok az sayıda iyi bilimci var. Birçok yönde araştırmalar yürütülüyor ama alana belirli bir tutarlılık veren bazı birleştirici fikirler de yok değil.

---

1 A. Ashtekar, "New Variables for Classical and Quantum Gravity" (Klasik ve Kuantum Kütleçekim İçin Yeni Değişkenler), Phys. Rev. Lett. 57(18): 2244-47 (1986).

Ana birleştirici fikir kolay sayılır: *Uzayla ya da onun içinde hareket eden bir nesneyle başlamamak gerekir*. Tamamen kuantum mekaniksel bir nesneyle, uzay yerine, saf kuantumsal bir yapıyla başla. Eğer kuram doğruysa uzay kendiliğinden, yapının ortalama bazı özellikleri üzerinden ortaya çıkacaktır; tam da sıcaklığın atomların hareketinden ortalama bir şekilde çıkması gibi.

Kısacası, kuantum kütleçekim üzerine çalışan birçok bilimci daha derin bir gerçeklik seviyesi olduğuna ve ardalandan bağımsız kuram fikrini mantığın en ucuna taşıyarak uzayın aslında var olmadığına inanır. Sicim kuramının anlamlı olması için onun ardalandan bağımsız bir kuram içerisinde yer alması gerektiğinden bu fikri birçok sicim kuramcısı da kabul eder. Biraz kısıtlı bir şekilde ifade edersek, eğer Maldecena savı (9. Bölüm) doğruysa, dokuz boyutlu bir geometri sabit bir üç boyutlu geometriden belirecektir. Bu durumda Edward Witten'ın, California Üniversitesi Santa Barbara'daki Kavli Enstitüsünde verdiği bir konuşmada "çoğu sicim kuramcısı uzayzamanın tıpkı yoğun madde fiziğinde olan olgular gibi beliren bir olgu olduğundan şüpheleniyor"[2] demesine şaşırmamak gerekiyor.

Bazı sicim kuramcıları bu noktaya nihayet önem vermeye başladılar ve şu anda elimizde olan kesin sonuçları ilerletmek üzere çalışmalarını umuyoruz. Yine de kuantum kütleçekim üzerine çalışanların kafasında Maldacena savından çok daha radikal bir şey var.

Başlangıç noktası geometriye hiç de benzemiyor. Kuantum kütleçekim üzerine çalışanların uzay belirir dediklerinde söylemek istedikleri şey aslında uzayın sürekliliğinin bir illüzyon olduğudur. Tıpkı suyun ya da ipek bir kumaşın sürekli gözüken yapısının aslında bunların atomlardan oluşmuş karmaşık sistemler olduğunu gözlerimizden gizlemesi gibi, uzayın da sürekli yapısının henüz sayamadığımız yapıtaşlarından oluştuğunu düşünüyoruz. Bazı yaklaşımlarda, basitçe uzayın süreksiz "atomlardan" oluştuğu kabul edilir; diğerlerinde bu kabul genel

---

2 http://online.kitp.ucsb.edu/online/kitp25/witten/oh/10.html

göreliliğin ve kuantum kuramının temel ilkelerini birleştirerek tutarlı bir şekilde doğrulanır.

Birleştirici diğer bir unsur da *nedenselliğin* önemidir. Klasik genel görelilikte, uzayzaman yapısı ışık ışınlarının nasıl yayıldığını belirler. Hiçbir şey ışıktan hızlı hareket etmediğine göre, ışığın olası hareketleri bilindiğinde olaylar arasındaki nedensellik ilişkilerini belirleyebiliriz. Elimizde olmuş iki olay olsun, bunlardan birinin diğerinin sebebi olabilmesi için aralarında ışık kadar ya da ondan daha yavaş hareket eden bir etki olmalıdır. Demek ki uzayzamanın geometrisi hangi olayların hangilerinin sebebi olabileceğine dair bilgi içerir. Buna *uzayzamanın nedensellik yapısı* denir.

Olası nedensel ilişkilerin uzayzaman tarafından belirlenmesi tek olasılık değildir. Bunu tersine çevirebiliriz: Nedensellik ilişkileri de uzayzaman geometrisini belirleyebilir çünkü eğer ışığın nasıl hareket ettiğini bilirsek uzayzaman geometrisini belirleyebiliriz.

Uzayın ya da uzayzamanın daha temel bir şeyden belirmesini söylemek fikren kolay gözükse de, bunu pratiğe dökmek isteyenler işin zor olduğunu fark ettiler. Gerçekten de ilk denemelerin çoğu başarısız oldu. Bugün bu başarısızlığın sebebinin nedenselliğin uzayzaman için oynadığı rolün göz ardı edilmesi olduğunu biliyoruz. Bugünlerde, kuantum kütleçekim üzerine çalışanlar olarak biliyoruz ki n*edensellik temeldir* ve uzay kavramının olmadığı durumlarda bile anlamlıdır.[3]

Kuantum kütleçekim üzerine günümüzün en başarılı yaklaşımları şu üç temel fikri öne çıkaranlardır: Uzay *belirir*, temel yapısı ve ifadesi ilke olarak *süreksizdir* ve bu ifade *nedenselliği* temel bir seviyede içerir.

Kuantum kütleçekimin şu andaki durumu bazı açılardan yüz yıl önceki fiziğe benziyor; insanlar atomlara inanıyorlardı ama atomik yapının detaylarını bilmiyorlardı. Fakat bu bilgi eksikliğine rağmen, Ludwig Boltzmann, Einstein ve diğerleri sadece

---

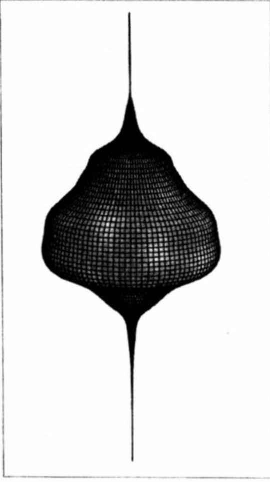
3 Bu görüş başlarda en beğenileni değildi. Nedenselliğin önemini vurgulamakta en önemli rolü oynayanlar, Roger Penrose, Rafael Sorkin, Fay Dowker ve Fotini Markopoulou'dur.

atomlardan yapıldığı fikri üzerinden madde üzerine birçok bilgi elde etmişlerdi. Bir atomum ortalama büyüklüğünden başka bir bilgi kullanmadan gözlenebilir olgular bile öngörmüşlerdi. Aynı şekilde bizler de, sadece belirme, süreksizlik ve nedensellik kabulleri üzerine dayanan basit modeller kullanarak önemli sonuçlar elde ettik. Ayrıntılar üzerindeki bilgi eksikliğimiz yüzünden bu modeller uzayzamanın süreksiz yapıtaşları üzerine olabilecek en basit kabuller üzerinden neler elde edilebileceğini çalışır. Bunlardan en başarılı olanı, Renate Loll ve Jan Ambjørn tarafından icat edilmiş, *nedensel dinamik üçgenleme* adlı modeldir.[4] Bu kadar basit bir stratejiye sahip bir model için fazlaca teknik bir isim; sonuçta temel nedensellik ilişkilerini bazı basit yapıtaşlarıyla oluşturmaya çalışıyor; tıpkı çocukların oynadığı oyun gibi (Şekil 14). Buna Buckminster Fuller yaklaşımı diyebiliriz. Temel fikir uzayzamanı her biri nedensel bir ilişkiyi betimleyen yapıtaşlarından oluşturmaktır. Bunların nasıl birleştirileceğini belirleyen birkaç basit kural ve oluşan her kuantum uzayzaman için bir olasılık veren bir formül vardır.

Loll ve Ambjørn'ün kullandığı kurallardan biri her kuantum uzayzamanı evrensel bir saat üzerinden birbirlerini izleyen diğer uzayzamanlardan oluşan bir zincir olarak görmektir. Zaman koordinatı tıpkı genel görelilikte olduğu gibi sabit ve verili değildir ama evreni birbirini izleyen geometriler dizgesi olarak görmek tanımlıdır.

Bu kısıtla ve birkaç basit kuralla klasik uzayzamanın, belirli yapıtaşları kullanarak yapılan bir binanın ortaya çıkması gibi, belirdiğine dair önemli delillere varıyorlar. Ardalandan bağımsız, süreksiz ve nedenselliğe dayalı bir kuantum kütleçekim kuramından klasik uzayzamanın belirebileceğine dair elimizdeki en iyi model bu. Öte yandan Ambjørn'ün gösterdiği üzere eğer nedensellik kısıtları kullanılmazsa bu modelden klasik bir uzayzaman elde edilemiyor.

[4] Örnek olarak *bkz.* R. Loll, J. Ambjørn ve J. Jurkiewicz, "The Universe from Scratch", hep-th/0509010.



Şekil 14. *Nedensel dinamik üçgenleme programına göre bir evren modeli. Şekil üç boyutlu bir uzayzamanın zamanla gelişimini gösteriyor. Uzay boyutları yatay, zaman dikey yönde. (Renate Loll'un izniyle.)*

Bu sonuçların en önemli anlamı, kuantum kütleçekim hakkında en çok inanılan bazı fikirlerin aslında yanlış olduğudur. Örneğin Stephen Hawking ve diğerleri nedensellik yapısının önemsiz olduğunu ve kuantum kütleçekimde uzay ve zaman arasındaki farklılıkları –sadece görelilik kuramlarında bile var olan bir farklılık– göz ardı ederek, yani zamanı tıpkı başka bir uzay boyutuymuş gibi kabul ederek hesap yapabileceğimizi iddia ediyorlardı. Hawking'in *Zamanın Kısa Tarihi* adlı kitabında kullandığı ve "zamanın sanal" olduğuna dair yorumları bunu ifade ediyordu. Ambjørn ve Loll'un sonuçları bize bu fikrin yanlış olduğunu gösteriyor.

Onların çalışmalarından önce de diğerleri uzayzamanın temel yapıtaşlarının nedensellik içerdiği durumları araştırmışlardı, ama kimse klasik uzayzamanın belirdiği bir model kuramamıştı. Bu tür modellerden *nedensel küme kuramı* adlı birinde, temel yapıtaşlarını çıplak olaylar olarak alır ve bunlar arasında bir nedensellik ilişkisi listesi farz edilir. Bu fikir Loll ve Ambjørn'ün modelinden dahi basittir çünkü zamansal bir olgunun genel akışı kabulü yoktur. Şu ana kadar, bu modelde klasik bir uzayzaman belirdiği gösterilemedi.

Yine de nedensel küme kuramının bir başarısı var: Kozmolojik sabit sorununu çözüyor gibi gözüküyor. Syracuse Üniversitesi fizikçisi Rafael D. Sorkin ve arkadaşları kuramdan klasik bir uzayzaman çıkacağını kabul ettiklerinde bu evrende kozmolojik sabitin gözlendiği kadar küçük olacağını öngörmeyi başarıyorlar. Bildiğim kadarıyla kozmolojik sabit sorununa getirilen en temiz çözüm bu. Bu başarıyı ve basit kabullere dayanan bu kuramın çekiciliğini göz önüne alındığımızda devamlı destek göstermemiz gereken bir araştırma programı olduğunu söyleyebiliriz.

İngiliz matematiksel fizikçi Roger Penrose da kuantum uzayzaman problemi için nedensellik ilişkilerinin temel yer tuttuğu bir yaklaşım öneriyor. Onun yaklaşımına *tvistör kuramı* diyoruz. O ve az sayıda diğerleri bu konuda 1960'lardan beri çalışıyorlar. Uzayzamanda yer alan olayların betimlememizin alışılmış yolunu tersine çevirdiğini söyleyebiliriz. Normalde neler olduğunu birincil, bunlar arasındaki ilişkileriyse ikincil olarak görürüz. Sonuç olarak olaylar gerçektir ve bunlar arasındaki nedensellik bağları sadece bunların özellikleridir. Penrose bu bakış açısının tersine çevirebileceğimizi fark etti: Basit nedensel süreçleri temel olarak alıp, olaylarıysa bunlar arasındaki denk gelmeler olarak ifade edebileceğimizi buldu. Daha kesin konuşursak, uzayzamandaki olası tüm ışık demetlerinden bambaşka bir uzay yaratabiliriz. Sonrasında tüm fiziği bu yeni uzayda çalışabiliriz. Sonuç olarak son derece güzel bir yapıya varırız ki Penrose buna *tvistör uzayı* diyor.

Penrose'un kuramı ilk defa duyurmasının hemen ardından yirmi yıl boyunca tvistör kuramı hızla gelişti. Fiziğin temel denklemlerinin çoğu tvistör uzayında şaşırtıcı ve çok güzel şekillerde yazılabildiği bulundu. Gerçekten de ışık demetlerinin daha temel, uzay ve zamanınsa bunlar arasındaki ilişkilerin basit bir özelliği olduğu doğru gibi gözüküyordu. Öte yandan kuramın birleştirici bir yönü de vardı çünkü değişik parçacıkları tanımlayan denklemler tvistör uzayında yazıldıklarında tek bir basit şekli alıyordu. Tvistör kuramı uzayzamanın diğer bir yapıdan ortaya çıkması kavramını kısmen sağlıyordu. Uzayza-

manımızdaki olaylar tvistör uzayında asılı duran belirli bazı yüzeylere denk geliyordu. Uzayzamanımızın geometrisi de tvistör uzayındaki yapılardan ortaya çıkıyordu.

Ama bu yaklaşımla ilgili sorunlar da var. Bunlardan en önemlisi tvistör uzayının sadece kuantum kuramı ihmal edildiğinde anlaşılır bir hal almasıdır. Öte yandan tvistör uzayı uzayzamandan çok farklı olsa da yine de düzgün ve sürekli bir geometrik yapıdır. Şu anda kimse kuantum tvistör uzayının neye benzeyeceğini bilmiyor. Kuantum tvistör kuramının anlamlı olup olmayacağı ve uzayzamanın bu kuramdan zuhur edip etmeyeceği ucu açık sorular.

Oxford 1970'ler boyunca tvistör kuramı için en önemli yerdi ve ben de diğer meraklılar gibi araştırma için oraya gitmiştim. Çok heyecan verici bir ortamdı; daha sonraları sicim kuramı araştırma merkezlerindeki ortamlardan pek farklı değildi. Penrose çok beğeniliyordu, tıpkı daha sonraları Edward Witten'ın beğenildiği gibi. Tvistör kuramına tutkulu bir şekilde bağlı son derece yetenekli genç fizikçiler ve matematikçilerle tanışmıştım. Birçoğu hatırı sayılır matematikçiler oldular.

Tvistör kuramı matematikte önemli gelişmelere yol açtı. Parçacık fiziğinin standart modelinin temeli olan Yang-Mills kuramının ana denklemleri dahil olmak üzere fizikteki birçok denklemin anlamını daha iyi kavramamızı sağladı. Tvistör kuramı Einstein'ın genel görelilik kuramının bazı çözümleri hakkında şaşırtıcı ve çok güzel anlayışlara da yol açtı. Bu bakış açıları, ilmek kuantum kuramı dahil olmak üzere, birçok alanda anahtar rol oynadılar.

Yine de tvistör kuramı geçerli olabilecek bir kuantum kütleçekim kuramına dönüşmedi. Bunun sebebi genel göreliliği içerek bir şekilde genişletilememiş olmasıdır. Ama Penrose ve birkaç arkadaşı henüz pes etmediler. Hatta, Witten'ın öncülüğünde bazı sicim kuramcıları da konu üzerinde çalışmaya başlayıp tvistör uzayına yeni bazı metotları uygulayarak hızlı bir ilerlemenin yolunu açtılar. Bu yaklaşımlar henüz tvistör kuramını bir kuantum kütleçekim kuramına yükseltmekten uzak fakat genel olarak ayar kuramları hakkında devrim sayılabilecek gelişmeler

sağladılar. Bu bile tvistör kuramını bu kadar uzun süre ihmal etmenin yanlış olduğuna delil kabul edilebilir.

Roger Penrose kuantum kütleçekim için yeni bir bakış açısı öneren tek birinci sınıf matematikçi değil. Yaşayan belki de en ünlü matematikçi –ve kesinlikle en eğlencelisi– Alain Connes'tir. Marsilyalı bir dedektifin oğludur ve ömrünün çoğu zamanında Paris'te çalışmıştır. Alain ile konuşmayı çok seviyorum. Ne söylediğini her zaman anlayabildiğimi iddia edemem, ama fikirlerinin derinliği ve şakalarının saçmalığı karşısında nutkum tutuluyor; bu şakalar kara delikler ya da Calabi-Yau uzayları hakkında olsa da genelde müstehcen içerikli. Bir keresinde bir kuantum kozmoloji konferansında verdiği seminerde, evrenin bahsi her açıldığında saygı icabı ayağa kalkmamız gerektiğini bile söylemişti. Alain'i her zaman anlayamasam da, o beni hep anlıyor; o kadar hızlı düşünebiliyor ki genelde cümlenizi sizin için tamamlıyor ve bu arada da fikrinizi geliştirmiş oluyor. Bunlara rağmen kendine ve fikirlerine güveni o kadar tam ki çok rahat davranıyor ve hiç de yarışmacı değil ve diğerlerinin fikirlerine de samimi olarak merak duyuyor.

Alain'in kuantum kütleçekim kuramına yaklaşımı temellere dönüp geometrinin ve kuantum kuramının yapılarını başarılı bir şekilde birleştiren bir matematik icat etmek oldu. 14. Bölümde bahsini ettiğim matematik bu ve geçişimsiz *geometri* olarak adlandırılıyor. Geçişimsiz derken kuantum kuramında büyüklüklerin yerlerinin değiştirilemediği olgusuna gönderme yapılıyor: AB eşit değildir BA, gibi. Kuantum kuramının bu değişimsizliği bir parçacığın konumunu ve gidimini aynı anda ölçememememize bağlıdır. Eğer iki büyüklük geçişimsizse değerlerini aynı anda bilemeyiz. Bu, ilk olarak geometriyle –örneğin bir yüzeyin görsel imgesi– çelişir gibi duruyor. Görsel bir imge oluşturacak bir fikir ilke olarak tam bir tanım ve tam bir bilgi içermeli. Aynı anda bilinemeyen nesnelerden geometriye benzer bir yapı kurmak gerçekten de önemli bir adım. Bu konunun ilgi çekici olmasının sebebi matematiğin birçok değişik alanını birleştirmeye yaraması ve fizikte yeni adımlara uygun bir kurgu sağlamasıdır.

Geçişimsiz geometri kuantum kütleçekim kuramı hakkındaki birçok değişik yaklaşımın içinde de bir şekilde bulundu: Sicim kuramı, çift özel görelilik ve ilmek kuantum kütleçekim kuramı dahil. Ama bunların hiçbiri Connes'un temel fikrinin derinliğini yakalayamıyor. O ve çoğu Fransız birkaç matematikçi bu fikri geliştirmeye devam ediyorlar.[5] Fikrin, bahsini ettiğimiz bu diğer halleri, örneğin uzayın ve zamanın koordinatlarının geçişimsiz yapmak gibi yüzeysel fikirlerden kaynaklanıyor. Connes'un asıl amacı çok daha derin; geometrinin ve cebirin temellerini birleştirmek. Bu tür bir fikir zaten, matematikten faydalanan birinden değil, matematiksel bilginin yapısı ve geleceği üzerinde yaratıcı ve stratejik düşünene birisinden çıkabilirdi.

Eski tvistör kuramcıları gibi, Connes'un izinden giden az sayıda araştırmacı konuya ve ona oldukça bağlılar. Alain, kuantum kütleçekime değişik yaklaşımlar üzerine Pennsylvania Eyalet Üniversitesinde gerçekleşecek bir konferans için ünlü ve kendinden daha yaşlı Fransız bir fizikçi olan Daniel Kastler'i önermişti. Bu beyefendi konferanstan bir hafta önce bacağını bir bisiklet kazasında kırmıştı ama hastaneden neredeyse tırmanarak çıkıp Marsilya havaalanına gitmiş ve açılış konuşmasını yapmak için tam zamanında yetişmişti. Ne dedi beğenirsiniz? *"Sadece tek bir gerçek Alain vardır ve ben onun habercisiyim."* Gerçek inananlara sahip olanlar sadece sicim kuramcıları değil, ama geçişimsiz geometriciler tartışmasız daha iyi bir mizah anlayışına sahipler.

Geçişimsiz geometrinin bir başarısı dolaysız olarak parçacık fiziğinin standart modeline varabilmesidir. Alain ve çalışma arkadaşlarının gösterdiği gibi eğer Maxwell'in elektrodinamik kanunlarını en basit geçişimsiz geometride yazdığınızda sonuç olarak zayıf etkileşmeleri elektrodinamikle birleştiren Weinberg-Salam modeli çıkıyor. Kısacası, zayıf etkileşmeler Higgs alanıyla beraber otomatik ve doğru olarak ortaya çıkıyor.

---

5 Örnek olarak *bkz.* Alain Connes, Noncommutative Geometry, San Diego Academic Press, 1994.

2. Bölümde değindiğimiz gibi birleştirme fikirlerini sınamanın bir yolu doğayla uyum sağlamayı becerip beceremediklerine bakmaktır. Connes'un fikrinin sıradan bir sonucu olarak zayıf ve elektrodinamik kuvvetlerin birleşmesi etkileyici bir durum. Sicim kuramı da böyle bir başarı yakalayabilirdi ama bu henüz gerçekleşmedi.

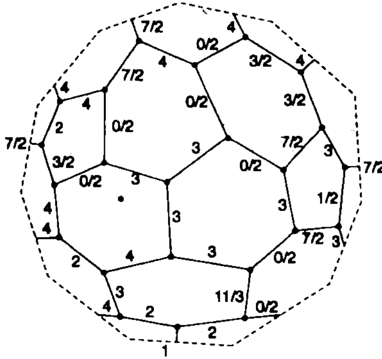
Uzayzamanın ve parçacık fiziğini süreksiz bir yapıdan belirmesini sağlamaya çalışan başka yaklaşımlar da var: Katı hal fizikçileri Stanford'dan Robert Laughlin, Helsinki Teknoloji Üniversitesinden Grigori Volovik ve MIT'den Xiao-Gang Wen'in modelleri gibi. Yakınlarda bu modelleri kuantum kütleçekim üzerinde çalışan gençler –mesela Olaf Dreyer gibi– tarafından tekrar ele alınıyorlar. Bu modeller ilkel gözüküyor ama yine de süreksiz birtakım kuantum sistemlerinden özel göreliliğin temel yapılarının –evrensel bir limit hızın varlığı gibi– belirebileceğini göstermekte başarılılar. Volovik ve Dreyer'in kışkırtıcı saptamalarından biri kozmolojik sabit sorununun artık çözülmüş olduğudur; çünkü aslında hiç problem teşkil etmemiştir. Söylediklerine göre bir sorun olduğunu düşünmek, ardalana bağlı kuramları fazla ciddiye almaktan kaynaklanan bir yanlış anlamadan ibarettir. Hatanın kaynağını kuramın değişkenlerini ayırıp bazılarını donmuş bir ardalan ve diğerlerini kuantum alanları olarak algılamanın oluşturduğunu iddia ediyorlar.[6] Eğer bu konuda haklılarsa, kuantum kütleçekim hakkında yıllardır elde edilmiş en önemli sonuca varmış durumdalar.

Burada bahsini ettiğim tüm yaklaşımlar ardalandan bağımsızlar. Birçoğu uzayzamanın süreksiz yapıtaşlarından oluştuğunu kabul ederek işe başlıyor. Aslında bundan daha iyisini yapmayı umuyoruz: Kuantum kütleçekim ve göreliliğin temel ilkelerini kullanarak uzayın ve zamanın süreksiz bir yapıya haiz olduğunu göstermek. İlmek kuantum kuramı tam da bunu yapıyor. Bu kuram, Einstein'ın genel görelilik kuramının 1986 yılında devrimci diyebileceğimiz yeni bir şekilde Ashtekar ta-

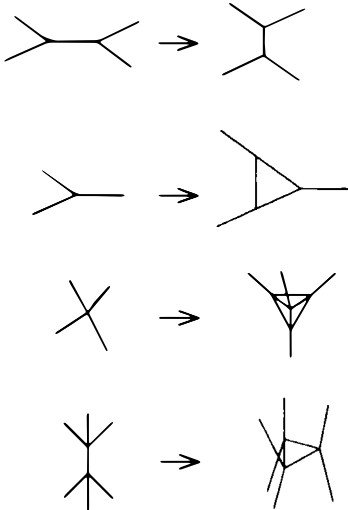
---

[6] O. Dreyer, "Background-Independent Quantum Field Theory and the Cosmological Constant Problem," hep-th/0409048.

rafından formüle edilmesini kaynak alıyor. Bunun sonucunda, Einstein kuramını sadece yeni birtakım değişkenler üzerinden ele alarak kuantum uzayzaman denen şeyin tam olarak neye benzeyeceğini anlamış bulunuyoruz.



Şekil 15. *Bir spin çizgesi ilmek kuantum kütleçekim ve bunla bağlantılı kuramlarda kuantum geometrinin bir halidir. Noktalara atfedilen hacim kuantumları ve kenarlara atfedilen alan kuantumları vardır.*



Şekil 16. *Spin çizgeleri zamanda yukardakine benzer yerel değişiklerle evrimleşir.*

İlmek kuantum kütleçekim kuramının anahtarı, 7. Bölümde de incelediğimiz, eski bir fikre dayanıyor: Bir alanı, tıpkı elekt-

romanyetik kuramda olduğu gibi, alan çizgileriyle tanımlamak. İlmek tabiri, maddenin yokluğunda alan çizgilerinin kendi üzerlerine kapanarak ilmekler oluşturabilmesine gönderme yapıyor. Holger Nielsen, Alexander Polyakov ve Kenneth Wilson'ın yaptıkları da bu anlayışa dayanıyordu. Bu, aynı zamanda, sicim kuramına yol açan fikirlerden biriydi. Kabaca söyleyebiliriz ki sicim kuramı sabit bir ardalan geometrisi üzerinde bu yaklaşımların geliştirilmesidir. İlmek kuantum kütleçekim kuramı da aynı fikre dayanıyor ama ardalan geometrisinden tamamen bağımsız olarak ifade ediliyor.

Bu iş Ashtekar'ın büyük keşfine dayanıyor: Genel görelilik kuramı tıpkı ayar kuramlarına benzer bir dilde ifade edilebilir. Uzayzamanın metrik özellikleri elektrik alana benzer bir büyüklükle bağıntılı olur. Bahsi geçen alan çizgilerini kuantum fiziğine uygun şekilde çalıştığımızda, onları ardalandan bağımsız bir şekilde ifade etmek zorunda kalırız çünkü ardalan yoktur; alan çizgileri uzayın geometrisini zaten belirler. Bunları kuantum mekaniksel yaptığımızdaysa klasik geometriden hiç iz kalmaz. Kısacası kendimizi bir ardalan metriğine bağlı olmadan kuantum alan kuramını tekrar icat etmek durumda buluruz. Uzun lafın kısası, fizik ve matematik üzerinde yetkin birçok kişinin uzun çabaları sonucu olsa da başarmış durumdayız. Sonuç ilmek kuantum kütleçekimdir.

Sonuç olarak ortaya çıkan resim oldukça basit. Bir kuantum geometrisi belirli bir çizgedir (Şekil 15). Kuantum uzayzamanı bir olaylar dizgesidir, bunun etkisiyle çizge yapısındaki yerel değişmelerle evrimleşir. Bunu anlatmanın en kolay yolu Şekil 16'daki gibi bir örnekle olacaktır.

Kuram çerçevesinde birçok başarılı sonuç var. Örneğin üç değişik anlamda sonlu bir kuram olduğu gösterilmiştir:

1-) Kuantum geometrisi sonludur; alanlar ve hacimler süreksiz birimler olarak gerçekleşir.

2-) Kuantum geometrisinin değişik tarihlere haiz olmasının olasılıklarını hesapladığımızda bunların sonlu sayılar olduğunu buluruz (en azından kuramın özel bir ifadesi olan *Barrett-Crane modelindeki* gibi).

3-) Kuram, parçacık fiziğinin standart modeli gibi madde içeren diğer bir kuramla etkileşmeye sokulduğunda, eskiden ortaya çıkan sonsuzluklar sonlu hale gelirler. Kuantum kütleçekimin yokluğunda sonsuzluk içeren ifadeleri gözlenmez hale getirmek için özel birtakım hesaplama yöntemleri gerekir; ilmek kuantum kütleçekim resme dahil edildiğinde sonsuz büyüklükler yoktur.

Bu ifadelerde belirsizlik olmadığını hatırlatmamız gerek. İlmek kuantum kütleçekimin temel sonuçları teoremlerle kesin olarak ispatlanmıştır.

Kuantum ilmek kütleçekimin önündeki en büyük görev, en başından beri, klasik bir uzayzamanın nasıl belireceğini göstermekti. Son birkaç yılda geliştirilen yeni yaklaştırım tekniklerinin temel bir rol üstlenmesiyle bu konuda önemli gelişmeler oldu. Bunlara göre kuramda değişik evrenleri ifade eden kuantum haller, iyi bir yaklaşıklıkla, klasik geometrilere yol açıyor. Geçen yıl, Marsilya Kuramsal Fizik Merkezinden Carlo Rovelli ve çalışma arkadaşları bu yönde önemli bir adım attılar: İlmek kuantum kütleçekimi kullanarak, iki kütleli cismin birbirlerini tıpkı Newton'ın evrensel kütleçekim yasası uyarınca etkileyeceği üzerine önemli kanıtlara vardılar.[7] Bu sonuçlar aynı zamanda kuramın düşük enerjilerde graviton içereceğine de işaret ediyor, yani ilmek kuantum kuramı gerçekten de bir kütleçekim kuramı.

Bu sıralarda, kuantum ilmek kütleçekimi gerçek dünya olgularına uygulamak için çok çaba gösteriliyor. Kuram çerçevesinde kara delik olay ufkunun ne olduğuna dair kesin bir tanım var ve bu kara delik entropi hesabının doğru çıkmasını sağlıyor. Bu sonuçlar, daha önce Bekenstein ve Hawking'in çalışmalarıyla ortaya koydukları gibi, kara deliklerin bir sıcaklığı ve entropisi (6. Bölüm) olmasıyla uyum halindeler. Ben bu satırları yazarken lisansüstü öğrencileri ve doktora sonrası araştırmacıları arasında pek rağbet gören bir problem var: İlmek kuantum kütleçekimden yola çıkarak Hawking'in kara deliklerin termodinamiği

---

[7] Örnek olarak *bkz.* C. Rovelli, "Graviton Propagator from Background-Independent Quantum Gravity," gr-qc/0508124.

üzerine vardığı sonuçlardan olabilecek sapmaları çalışarak, eğer ilerde kara delikler dolaysız olarak gözlenirse bu sayede ilmek kuantum kütleçekim kuramını doğrulanabilir ya da yanlışlanabilir bir kurama dönüştürmek.

Öte yandan ilmek kuantum kütleçekim kara deliklerin içinde zamanla şiddetle değişen geometrileri çalışmak için kurgulanan modeller için de temel olarak alınıyor. Birçok hesaba göre, Einstein'ın kütleçekim kuramının öngördüğü tekillikler, kara delikler içinde yer almıyor. Buna göre, zaman, klasik genel göreliliğin öngördüğü gibi durmak zorunda değil; akıp gidebilir. Nereye gidiyor peki? Uzayzamanda yeni yaratılmış bölgeler gidiyor gibi gözüküyor. Tekilliğin yerini *uzayzaman sekmesi* dediğimiz yapı alıyor. Sekmeden hemen önce, kara deliğin içindeki madde içeri doğru çöküyordur. Sekmeden hemen sonra genişlemeye başlıyor; ama daha önce var olmayan bir bölgeye doğru. Bu oldukça tatmin edici bir sonuç, çünkü Bryce DeWitt ve John Archibald Wheeler'ın daha önceleri yaptığı bir spekülasyonu doğruluyor. Aynı tekniklerle çok erken evrende neler olduğu üzerine de çalışmalar var ve burada da, kuramcılar tekilliğin olmadığı üzerine kanıtlar buluyor. Buna göre evren Büyük Patlamadan önce de var olmalı.

Kara deliklerdeki tekilliğin bertaraf edilmesi Hawking'in kara delik enformasyon ikilemine de doğal bir çözüm oluşturuyor. 6. Bölümde söylediğimiz gibi bilgi kaybolmuyor; sadece uzayzamanın yeni bir bölgesine gidiyor.

Çok erken evren üzerine, kuantum ilmek kütleçekim kuramının bize verdiği bu kontrol sayesinde gerçek gözlemler üzerine öngörülerde bulunabiliyoruz. Henüz yakınlarda, Perimeter Enstitüsündeki iki doktora sonrası araştırmacı, Stefan Hofmann ve Oliver Winkler, kuantum kütleçekimin kozmik ardalan ışıması üzerine yaptığı etkiler üzerine kesin öngörülerde bulundular.[8] Bu öngörüler ileriki deneylerde gözlenebilir.

---

8 S. Hofmann ve O. Winkler, "The Spectrum of Fluctuations in Singularity-free Inflationary Quantum Cosmology," astro-ph/0411124.

Kuramcılar aynı zamanda Auger ve GLAST deneylerinin sonuçları üzerine öngörülerde bulunmaya çalışıyorlar. Bu deneyler Planck ölçeğinde özel göreliliğin geçerli olup olmadığına bakıyorlar. Ardalan geometrilerinden bağımsız kuramların en önemli avantajı bu tür deneyler hakkında öngörülerde bulunabilmeleri. Eylemsiz gözlemcilerin görelilik ilkesi kalıyor mu gidiyor mu? Çifte özel görelilik kuramlarında olduğu gibi değişime mi uğrayacak? Daha önce de söylediğim gibi ardalan geometrisine bağlı kuramlar bu deneyler üzerine öngörüde bulunamazlar çünkü ardalan geometrisinin seçimi soruyu zaten deneysiz cevaplamış oluyor. Özel olarak, sicim kuramı eylemsiz gözlemcilerin göreliliği ilkesini aynen Einstein'ın özel görelilik kuramında kullandığı şekliyle kabul ediyor. Özel göreliliğin ilkelerinin kaderi üzerine ancak ardalan geometrisinden bağımsız bir kuram öngörüde bulunabilir, çünkü bu kuramlarda uzay-zaman dinamik bir problemin çözümü olarak ortaya çıkar.

İlmek kuantum kütleçekim kuramı kesin bir öngörüde bulunabileceğine dair söz veriyor diyebiliriz. Uzayın iki boyutlu olduğu durumlarda bunu zaten yaptı: Çifte özel görelilik kuramı doğrudur. Üç uzay boyutlu dünyamız için de aynı olacağına dair göstergeler var ama şu ana kadar ikna edici bir kanıt yok.

Ya parçacıkların ve kuvvetlerin birleştirilmesi gibi diğer büyük problemler ne oluyor? Kısa zaman öncesine kadar, ilmek kuantum kütleçekimin kuantum kütleçekim dışında fazla bir şey söyleyemeyeceğini düşünüyorduk. Kurama madde ekleyebilirdik ve önemli sonuçlar değişmezdi. Eğer isteseydik tüm standart modeli de ilmek kuantum kuramına ekleyebilirdik. Bunu yapmadık çünkü ilmek kuantum kütleçekimin kuvvetleri birleştirme konusunda özel bir katkısı olmayacağına inanıyorduk. Yakınlarda anladık ki bu konuda hatalıymışız. İlmek kuantum kütleçekim içinde zaten temel parçacıklar bulunduruyormuş. Hatta son çalışmalar işaret ediyor ki içinde yer alan parçacık fiziği tam olarak da doğru olan parçacık fiziği: Standart Model.

Geçen yıl, Fotini Markopoulou uzay geometrisinin daha temel bir kuramdan nasıl belirebileceğine dair yeni bir yaklaşım önerdi. Markopoulou kuantum kütleçekim üzerine çalışan genç

bir fizikçi ve beni sürekli nihayetinde doğru çıkan ama ilk başta pek mümkün gözükmeyen fikirleriyle şaşırtıyor. Bahsettiğim onun en iyi fikri: Dolaysız olarak klasik bir uzayzaman geometrisinin bir kuantum geometrisinden nasıl belireceğini sormak yerine kuantum geometrisinde parçacıkların nasıl hareket edebileceğine yoğunlaşıyor. Ona göre bir parçacık kuantum geometrisinden beliren bir tür nesne olmalı ve bu geometri üzerinde tıpkı dalgaların sıvı ya da katılarda yaptığı gibi yayılmalı. Öte yandan, bildiğimiz haliyle parçacık fiziğinin elde edilebilmesi için, üzerinde hareket ettikleri kuantum geometrisini göz ardı ederek bu nesnelerin saf kuantum halde parçacıklar olarak ifade edilmeleri gerekir.[9]

Normal olarak bir parçacık çevresiyle etkileştiğinde, hali hakkındaki bilgi bu çevreye yayılır; buna eşevresizlik diyoruz. Bu eşevresizliği engellemek zordur; aslında bu tam olarak kuantum bilgisayar yapmanın cidden çok zor olmasının sebebi çünkü bu tür bir bilgisayar hesap için kullandığı parçacığın saf bir kuantum halinde olmasına gerek duyar. Kuantum bilgisayarlarını yapanların çevresiyle etkileşen bir sistemin ne şartlarda saf bir halde olacağına dair fikirleri var. Bu alandaki uzmanlarla çalışırken, Markopoulou bahsi geçen fikirlerin tam olarak da bir kuantum uzayzamanından bir kuantum parçacığın nasıl çıkacağı sorusuyla denk olduğunu fark etti. Kuantum kütleçekim kuramlarından öngörüsel önermeler çıkarabilmek için bu tür bir parçacığı belirleyip devinimini sanki normal uzayda gerçekleşiyormuş gibi çalışmayı önerdi. Bu yaklaşımda çevre faktörü kuantum uzayzamanın etkilerinden kaynaklanır ve dinamik olduğundan sürekli değişir. Kuantum parçacığı bu çevre üzerinde sanki hiç değişim olmuyormuş gibi hareket etmelidir.

Bu fikirleri kullanarak, Markopoulou ve çalışma arkadaşları bazı ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim kuramlarından beliren parçacıklar çıkabildiğini gösterdiler. Ama bu parçacıklar nedir? Gözlenmiş herhangi bir olguyla örtüşüyorlar mı?

---

9 F. Markopoulou, "Towards gravity from the quantum," hep-th/0604120.

En başta bu sorunun cevabı zor gözükmüştü, çünkü ilmek kuantum kütleçekimin öngördüğü geometriler oldukça karmaşıktı. Bahsi geçen parçacıklar üç boyutlu uzaya yerleştirilmiş çizgelere bağlıydı. Uzay bir ardalan oluşturuyordu ama topolojik yapısından başka bir özelliği yoktu; geometrik özelliklerin hepsi –uzunluklar, alanlar ve hacimler– çizgelerden geliyordu. Ama bu çizgeler uzaya yerleştirilmek zorunda olduğundan, kuramda geometriyle hiç alakası olmayan çok fazla bilgi var gibi duruyordu. Bu fazla bilgiler bir çizgenin kenarlarının üç boyutlu uzayda sonsuz değişik şekilde bağlanmasına, düğümlenmesine ve örgülenmesine bağlıydı.

Çizgelerin bu bağ, düğüm ve örgü özelliklerinin anlamı nedir? Bu soru 1988 yılından beri bir cevap bekliyordu. Markopoulou beliren parçacıkların bu topolojik yapılarda kodlandığını gördü.

Geçen baharda, genç Avustralyalı parçacık fizikçisi Sundance O. Bilson-Thompson'ın bir makalesine rastlamıştım. Orada kurdelelerin basit örgülenme özelliklerinin 5. Bölümde bahsi geçmiş parçacık fiziğindeki preon modellerinin özelliklerini tam olarak yansıttığını gösteriyordu. (Preon modellerinin standart modelin temel parçacık olarak kabul ettiği nesnelerin aslında bazı alt yapıtaşlarından oluştuğu kabulüne dayandığını hatırlayalım.) Bilson-Thompson'ın modelinde preon bir kurdeledir ve değişik preon tipleri kurdelenin sağa, sola ya da sıfır bükülmüş hallerine denk gelir. Üç kurdela birbirleriyle bir örgü oluşturabilirler ve bunu gerçekleştirmenin değişik yolları tam olarak da standart modeldeki değişik temel parçacıklara denk düşer.[10]

Makaleyi okur okumaz ihtiyacımız olan bilginin bu olduğunu anladım çünkü ilmek kuantum kütleçekimde de örgüler gayet mümkün yapılardı. Bir kuantum uzayzamanındaki çizgelerin kenarlarını değişik şekillerde düğümleyip örgülemek değişik temel parçacıklara karşılık gelmeliydi. Kısacası ilmek kuan-

10 S.O. Bilson-Thompson, "A Topological Model of Composite Preons," hep-ph/0503213.

tum kütleçekim sadece bir kuantum uzayaman kuramı değildi, içinde doğal olarak temel parçacıklar fiziğini barındırıyordu. Ve eğer Bilson-Thompson'ın kurgusunu kuram içinde tam olarak bulursak *doğru* bir temel parçacık fiziği kuramı da içerecekti. Markopoulou'ya bu örgülerin onun bahsettiği eşevresizlik halleri olup olamayacağını sordum. Bilson-Thompson'ı beraber çalışmaya davet ettik ve birçok hatalı başlangıçtan sonra temel fikrin gerçekten de sonuna kadar işlediğini keşfettik. Basit kabuller yaparak bazı kuantum kütleçekim kuramlarından en basit preon modelini kurgulayabildik.[11]

Bu bulgu birçok soruyu beraberinde getiriyor ve şimdi bunlara cevap vermeye çalışacağım. Bu çalışmaların CERN'deki LHC deneyleri üzerine kesin ve net öngörülerde bulunup bulunamayacağını anlamak için henüz erken. Ama bir şey açık. Sicim kuramı artık kuantum kütleçekim ile temel parçacıklar fiziğini birleştirmenin tek yolu değil. Markopoulou'nun sonuçları gösteriyor ki, ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim kuramlarının birçoğu temel parçacıkları beliren nesneler olarak içeriyor. Öte yandan veri bir kuram da sonsuz genişlikte bir kuramlar manzarasına yol açmıyor. Tam tersine, tekil ve belirli öngörülerde bulunuyor ki bu da ya doğrulanıp ya da yanlışlanacakları anlamına geliyor. Bu durum Leonard Susskind ve diğerlerinin savunduğu antropik ilkeyle bilim yapma yöntemini de (11. Bölüme bakınız) mercek altına almamızı gerektiriyor. Eski yöntemlerle yapılan bilim ilerlemeye devam ediyor.

Kısacası, bahsini ettiğimiz fiziğin beş temel problem üzerine değişik yaklaşımlar *mevcut*: Temel fizik alanı sicim kuramı dışında da hızla gelişiyor. Bu gelişme sadece tek bir yönle de sınırlı değil; nedensel dinamik üçgenlemeler ve ilmek kuantum kütleçekim gibi. Bilimin sağlıklı seyreden birçok alanında olduğu gibi matematik ve deneyle canlı bir etkileşme var. Belki, bu alanlarda sicim kuramı üzerine çalışanlar kadar çok insan araştırma yapmıyor ama yine de fiziğin sınırında karşımıza çı-

---

[11] S.O. Bilson-Thompson, F. Markopoulou and L. Smolin, "Quantum Gravity and the Standard Model," hep-th/0603022.

kan sorunlarla boğuşacak yeterli sayıda (hemen hemen iki yüz kadar) insan var. Yirminci yüzyıldaki büyük sıçrama çok daha az sayıda araştırmacı tarafından gerçekleştirilmişti. Bilimde devrim yapmaya gelince önemli olan inananların sayısından çok düşüncenin niteliksel değeridir.

Yine de açık olmak istiyorum, bu sicim sonrası durumda sicim kuramı üzerine çalışmaların durmasını gerektirecek hiçbir kesin bilgi yok. Sicim kuramının temel fikri sicimlerin ve alanların ikiliği üzerinedir ve bu fikir gösterdiğimiz gibi ilmek kuantum kütleçekimde de yer alır. Şu andaki bunalıma yol açan bu temel fikir değil onun özel bir uygulamasıdır: ardalana bağımlı bir şekilde ve fazladan boyutlar ve süpersimetri gibi riskli kabuller üzerine kurgulanan bir uygulama. Sicim kuramına başka bir yaklaşımın –ardalandan bağımsız ve kuantum kuramıyla daha sıkı ilişki içinde olacak şekilde– doğru olmaması için de bir sebep yok. Ama bunun gerçekleşmesi için sicim kuramının açık bir ortamda, diğer yaklaşımlar karşısında üstün görülmeden ve nihai başarı ya da başarısızlık kriterleri bir yana bırakılarak geliştirilmesi gerekir. Fizikteki yeni ruhun kaldıramayacağı tek şey kanıtlar ne gösterirse göstersin tek bir fikrin başarıya ulaşması gerekliliği fikridir.

Bugünlerde kuantum kütleçekim kuramcıları arasında heyecanlı bir ilerleme havası olmasına rağmen gelecekte karşımıza beklenmedik olguların çıkacağına dair beklentiler de var. İki süpersicim devriminin tutkulu zamanlarında çalışan sicim kuramcılarının aksine kuantum kütleçekim kuramcılarının pek azı ellerinde nihai bir kuram olduğuna inanıyorlar. Ardalandan bağımsız yaklaşımların başarılarını Einstein'ın devriminin nihayete ulaşmasının son adımı olarak görüyoruz. Bunlar gösteriyor ki kuantum kuramını ve genel göreliliği tutarlı matematiksel bir çerçevede birleştirmek mümkün. Bu bize sicim kuramının vermeyi başaramadığı kuramsal bir çerçeve sunuyor: 1. Bölümde listelediğimiz beş temel sorunu bir arada çözmek. Öte yandan yapbozun tüm parçalarını henüz ele geçirmiş olmadığımızdan da neredeyse eminiz. Bütün son ilerlemelere rağmen henüz hiçbir fikir o mutlak gerçeklik tınısına sahip değil.

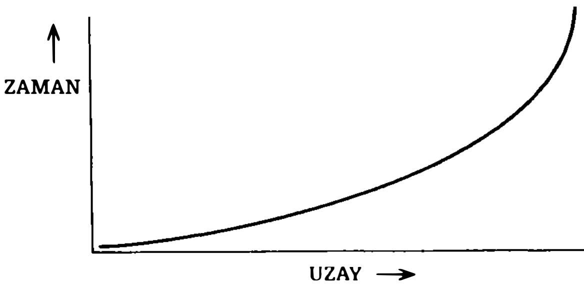
Fizik tarihine bir baktığımızda bir olgu kendini açıkça gösteriyor: Doğru kuram nihayetinde keşfedildiğinde zaferi de çabucak gerçekleşiyor. Birleştirme hakkındaki kurallar as sayıda, ikna edici, basit ve biricik şekillerde ifade ediliyor; ayarlanabilir özellikler ve bir olasılıklar listesi olarak değil. Newtoncı fizik üç basit kuralla tanımlı, kütleçekimse tek bir formül ve tek bir sabitle. Özel görelilik kuramı en baştan tam olarak ifade edildi. Kuantum kuramını tam olarak ifade edebilmek belki yirmi beş yıl aldı, ama en baştan beri deneylerle tam bir uyum içerisinde gelişti. 1900 yılından beri bu konudaki anahtar makaleler ya yeni gerçekleştirilmiş bir deneyi açıklamak ya da bir diğeri üzerine kesin öngörülerde bulunmak üzere yazılmıştı. Bunlar genel görelilik için de geçerlidir.

Kısacası, zafere ulaşan tüm kuramlar birkaç yıl içinde deneylere kolayca uygulanabilecek ifadeler içeriyordu. Bu durum kuramların tam olarak çözülebileceği anlamına gelmez; birçok kuram zaten kesinkes çözülebilir değildir, en azından tüm durumlar için. Ama kuramdaki fiziksel sezginin yeni bir fiziksel olguya işaret ettiği anlamına gelir.

Sicim kuramı, ilmek kuantum kütleçekim ya da diğerleri hakkında kim ne derse desin henüz bu kesinlikte bir öngörüde bulunmuş değil. Buna verilen alışıldık mazeret deneylerin gerekli hassasiyete henüz ulaşmamış olduğudur, ama gördük ki bu da geçerli değil. Demek ki başka bir sebep olmalı. İnanıyorum ki hâlâ temelde vakıf olmadığımız bir gerçeklik var, bazı önerilerimiz yanlış. Eğer durum böyleyse, yanlış kabulü keşfedip onu yeni bir fikirle değiştirmeliyiz.

Bu yanlış fikir ne olabilir? Benim tahminime göre bu iki şey içerebilir: kuantum mekaniğinin temelleri ve zamanın doğası. Birincisini epeydir tartışıyoruz; kuantum kütleçekim kuramlarından yola çıkarak kuantum fiziği üzerine önermeler yapılmasını ümit verici buluyorum. Ama anahtar kavramın zaman olduğu hakkında da güçlü bir şüphe duyuyorum. Gitgide, kuantum kuramının ve genel göreliliğin zamanın doğası hakkında derinden yanlış olduğunu düşünmeye başladım. Onları birleştirmek yeterli değil gibi duruyor. Belki de fiziğin çıkışına kadar uzanan daha derin bir sorun var.

17. yüzyılın başlarında Descartes ve Galileo harika bir keşifte bulundular: Bir ekseni zaman diğeri uzay olan bir grafik çizebilirdik. Uzayzamanda bir hareket bu grafikte bir eğriye denk düşecekti (Şekil 17). Böylece zaman sanki diğer bir uzay boyutu gibi algılanabilir. Hareket donmuştur ve hareketin tüm geçmişi ve ilerdeki değişimi bize değişmez ve sabit bir şekilde sunulabilir. Eğer bir tahminde bulunsam (ki tahminde bulunmak hayatımı kazanmak için tek yaptığım şeydir), derdim ki işte suç mahalli.



Şekil 17. *Descartes ve Galileo'dan beri zamanda ilerleyen bir süreç bir grafikteki eğri olarak betimlendi. Fazladan boyut zamanı temsil ediyordu. Zamanın bu "uzaysallaştırılması" kullanışlı olabilir ama yine de bize değişmeyen statik bir dünya sunmasıyla, donuk sonsuz ömürlü bir ilişkiler yumağı ifade etmesiyle eleştiriye açıktır.*

Zamanı eritmenin, donuk halden kurtarmanın, onu uzaya dönüştürmeden ifade etmenin bir yolunu bulmalıyız. Bunu yapacak matematiksel bir yöntem bilemiyorum. Zamanı ifade etmek son derece zor. Bu yüzden de bu temsilin kayıp halka olduğunu düşünüyorum.

Bir şey açık: Sicim kuramı çerçevesinde kalarak bununla ilgili hiç yol katedilemez. Sicim kuramı sabit ardalan uzayzaman geometrileri üzerinden ifade edildiği için ne zamanın ne de kuantum kuramının temelleri hakkında yeni bir düşünme biçimi sunabilir. Ardalandan bağımsız yaklaşımlar daha iyi başlangıçlar sunabilir çünkü ilk elden uzay ve zamanın klasik betimlemesini terk ederler. Bu yaklaşımlar aynı zamanda tanımlaması ve sağını solunu kurcalaması kolay çerçeveler sunar. Öte yandan

bunların fazladan bir faydası da vardır: Bahsi geçen matematik, zamanın doğası hakkında köktenci fikirleri araştırmak için pek az sayıda matematikçinin kullandığı fikirlere çok yakın: mantığın, topos kuramı olarak adlandırılan bir alanı.

Zamanı diğer bir uzay boyutuna dönüştürmeden ifade etmek hakkında bildiğim bir şey var, o da aynı sorunun diğer disiplinlerde de kendini göstermesi; kuramsal biyoloji, bilgisayar bilimi hatta hukuk gibi. Yeni fikirlerin oluşmasını sağlamak için ben ve Roberto Mangabeira Unger, yakın zamanda Perimeter Enstitüsünde küçük bir çalıştay düzenledik. Değişik alanlardan hayalciler konuştu. O iki gün yıllardır geçirdiğim en heyecanlı zamandı.[12]

Bu konuda daha fazla konuşmayacağım, çünkü daha başka bir soruna yönelmek istiyorum. Diyelim ki entelektüel amaçları olan genç, orijinal fikirlere sahip biri fiziğin beş temel problemi üzerine düşünmek istiyor. Bunlar hakkında kesin herhangi bir ilerleme kaydetmemiş olduğumuz göz önüne alındığında böyle birinin neden şu andaki araştırma programlarına yoğunlaşmak isteyeceğini anlaşılır kılmak imkânsız. Açıkçası, sicim kuramı ya da ilmek kuantum kütleçekim nihai cevap olsaydı artık bunu biliyor olmalıydık. Bunlar başlangıç noktaları olabilir, cevabın bazı kısımlarını ve gerekli dersleri içerebilir. Ama yeni bir kuram yeni yapıtaşları içermelidir ve belki de bahsini ettiğimiz bu genç bunları bulmak için biçilmiş kaftandır.

Benim neslim, bu tür insanlara ne sunabildi ki? Kullanmak isteyip istemeyeceklerini bilmediğimiz fikirler ve teknikler, her yönde kısmi ilerlemeler ve nihayetinde Einstein'ın yüz yıl önce başladığı işi bitirmek konusunda tam bir başarısızlık. Yapacağımız en kötü şey onları bizim fikirlerimiz üzerine çalışmaya zorlamak olacaktır. Kitabın son bölümü için seçtiğim soru her sabah kendime sorduğum soruyla aynı: Genç bilimcileri desteklemek ve cesaretlendirmek için ve bunu yaparken –kendimiz de feyz alarak– son otuz yılda yaptıklarımızı aşmak ve beş temel sorunu çözebilecek kuramı bulmak için elimizden geleni yapıyor muyuz?

---

[12] Tartışmaların ses kayıtlarına şu adresten ulaşabilirsiniz, http://www.perimeterinstitute.ca/activities/scientific/cws/evolving_laws/.

KISIM IV
DENEYDEN ÖĞRENME

16. SOSYOLOJİYLE NASIL BAŞ ETMELİ?

Kitabın bu son kısmında, giriş bölümünde bahsettiğimiz sorunlara dönmek istiyorum. Bu kadar yetenekli ve iyi eğitimli binlerce fizikçinin çabasına rağmen, temel fizikteki kesin ilerlemeler neden bu kadar az oldu? Ve bazı gelecek vaat eden yeni yönlerin ışığında neler yapmalıyız ki ilerleme hızı 1980'den iki yüz yıl öncekiyle aynı olabilsin?

Fizikteki bu sorunları tanılamanın bir yolu son otuz yılda Nobel Ödülüne layık görülmesine kesin gözüyle bakılan hiçbir kuramsal parçacık fiziği çalışması olmadığına işaret etmek. Bunun sebebi, ödülün deneysel doğrulanmayı şart koşması. Süpersimetri ya da şişme gibi kuramlar, ilerde şüphesiz ki deneylerle doğrulanabilir. Bu durumda da mucitleri Nobel Ödülünü hak ediyor olacaktır. Yine de standart model ötesi fizik üzerine önerilmiş herhangi bir varsayımın deneylerle kesin olarak keşfedileceğini iddia etmekten uzağız.

Durum, yüksek lisans eğitimime başladığım 1976 yılında oldukça farklıydı. Sadece üç yıl öncesinde nihai şeklini almış standart modelin gerçek bir ilerleme olduğu aşikârdı. Zaten birçok deneyin doğruladığı önermeleri vardı ve dahası da yoldaydı. Standart modeli bulanların eninde sonunda Nobel Ödülünü

alacakları konusunda herhangi bir şüphe yoktu ve zamanla bu da gerçekleşti.

Şimdilerde hiçbir şey yukarda anlattığım gibi değil. Son yirmi beş yıl boyunca kuramsal fizik alanında pek çok ödül verildi, ama Nobel değil. Nobel Ödülü çok zeki ya da başarılı olduğunuz için verilmez; haklı olduğunuz için verilir.

Bunları, süpersimetri ya da şişme kuramında harika teknik gelişmeler sağlandığını reddetmek için söylemiyorum. Söyleniyor ki zamanımızdaki bilimcilerin toplam sayısı bütün bilim tarihindekinden fazla. Bu fizik konusunda daha da geçerli; günümüzde büyük bir üniversitenin fizik bölümünde geçen yüzyıl Avrupası'ndakinden, ki hemen tüm ilerlemeler orada gerçekleşmişti, daha fazla fizikçi olabiliyor. Bütün bu insanlar çalışıyorlar ve yaptıkları araştırmalar da teknik olarak son derece ileri sayılır. Öte yandan, günümüzde genç kuramsal fizikçilerin teknik seviyesi bir ya da iki nesil öncekilere kıyasla çok daha ileri. Gençler için öğrenecek çok fazla şey var ve bir şekilde bunu beceriyorlar.

Yine de 1980 yılından iki yüzyıl öncesine kıyasla, temel parçacık fiziğinde kesin ve geri döndürülemez ilerlemenin hızı yavaşlamış durumda.

Son yirmi beş yıldaki sürecin başarısızlığının sebeplerini daha önce tartıştık. Deneysel verilerin kıtlığından değil; açıklama bekleyen birçok veri var. Kuramların sınanması için çok süre gerekmesi de değil; genelde bir kuramın önerilmesi ile deneysel sınanması arasında ortalama on yıl kadar geçiyor. Tembellik de değil; tarihte yaşamış olanlardan daha fazla sayıda insan temel sorunlar üzerine çalışıyor. Suçu beceriksizliğin üzerine de atamayız.

Önceki bölümlerde, başarısızlığa uğrayanın özel bir kuramdan ziyade, özel bir araştırma biçimi olduğunu öne sürmüştüm. Eğer insan sicim kuramı ya da ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim kuramları üzerine çalışan toplulukların ikisiyle de zaman geçirirse görür ki aralarında araştırma tarzı ve nelere değer verdikleri üzerinden büyük farklılıklar var. Bu farklılıklar kuramsal fizikte nerdeyse yirmi beş yıl önce gerçekleşen bir yırtılmayı görünür kılıyor.

Kuantum kütleçekim topluğunun tarzı görelilikçiler topluluğu diye adlandırabileceğimiz bir gruptan miras kalmıştır. Bu gruba Einstein'ın öğrencileri ve çalışma arkadaşları –Peter Bergmann, Joshua Goldberg ve John Archibald Wheeler gibi– ve onların öğrencileri önderlik ediyordu. Bu grubun çekirdek değerleri, her bir araştırma programına ve fikre saygı, modalaşma karşısında şüphe, matematiksel olarak temiz ve net usavurmalara güvenme ve anahtar sorunların uzay, zaman ve kuantum fikirlerinin doğasıyla yakından ilintili olduğuna dair bir kanaatti.

Sicim kuramı grubunun tarzıysa temel parçacıklar fiziği yapanların kültürüne dayanıyordu. Bu alan her zaman daha agresif, yarışmacı ve aceleci bir atmosfere sahipti: Kuramcıların yeni gelişmelere hemen cevap verebilmesi gerekiyordu (1980 öncesinde bu daha çok deneysel gelişmelerden kaynaklıydı) ve genel olarak sorunlara felsefi yaklaşımlara güven duymuyorlardı. Bu tarz, Einstein'ın ve kuantum kuramının mucitlerinin daha düşünsel ve felsefi tarzının yerine geçmişti. Yine bu tarz, bilimin merkezi Amerika'ya taşınıp entelektüel ilgi de temel kuramların araştırılması yerine onların uygulanmasına doğru kayınca çok başarılı oldu.

Bilim değişik problemler karşısında değişik tarzlara ihtiyaç duyar. Benim temel fikrim sicim kuramıyla ilgili sorunun temel parçacıklar fiziğinin tarihsel tarzını benimsemesi olduğu; bu tarz, yeni kuramsal çerçevelerin keşfine uygun değil. Bu aynı zamanda, deneysel verilerden kopukluk zamanlarında sürdürülebilirliği sekteye uğrayan bir tarz. Bu yarışmacı, modalaşma güdümlü tarz deneysel verilerle iteklendiğinde başarılı oldu ama birkaç önemli şahsiyetin görüşleri ve estetik kaygıları dışında pek de itekleyici fikrin olmadığı bir ortamda buna devam edemedi.

1970'li yılların ortalarında fizik üzerine çalışmaya başladığımda bu iki araştırma tarzı da sağlıklı sayılabilir durumdaydı. Görelilik grubundakilere nazaran daha fazla temel parçacık fizikçisi vardı ama yer sorunu yaşanmıyordu. Uzay, zaman ve kuantumun derin temel sorunları üzerine kendi çözümlemele-

rini oluşturmak isteyeneler için pek fazla yer yoktu ama iyi fikirlere sahip olanların hepsi destek alabiliyordu. O zamandan bu zamana, görelilikçilere duyulan ihtiyaç artmasına rağmen akademide sayıları, sicim kuramın ve diğer bazı araştırma programlarının hâkimiyeti karşısında, azaldı. Amerika'da 1990 yılından beri, Pennsylvania Üniversitesindeki tek bir araştırma grubu dışında, kuantum kütleçekim üzerindeki araştırma konusu sicim kuramına ya da fazladan boyutlara dayanmayan tek bir yardımcı doçent bile işe alınmadı.

Nasıl oldu da, hem burada hem de yurtdışında, soruna yaklaşımda en az fayda sağlayacak tarz alana hâkim oldu? Bu sosyolojik bir soru, ama eğer fiziğe önceki zamanlardaki canlılığını tekrar kazandırmak üzerine önerilerde bulunacaksak cevap vermeye de zorunlu olduğumuz bir soru.

Sorunu ortaya açıkça koymak için, bilimde bir kariyer elde etmek isteyen bir gencin üstesinden gelmesi gerekenlerin nasıl yaygın bir şekilde değişmiş olduğuna bakmamız gerek.

En çok göze çarpan değişim şu: Gençler artık yaşlı ve etki sahibi fizikçilerin saygısını kazanmak üzere yarışma konusunda daha çok baskı altındalar. Amerikan bilimini oluşturmuş, şimdi emekliliğe yaklaşmış, o büyük nesil kendi aralarında en üst seviyelerdeki üniversiteler ve enstitüler için yarışmış olabilirler ama tek istediğiniz bir yerde size istediğiniz alanlardaki araştırmalarınızı yürütme özgürlüğü tanıyacak profesörlük konumuysa fazla baskı yoktu. 1940'lardan 1970'lere doğru üniversitelerin sayısı üstel olarak arttı ve mezuniyetten sonra genç bir bilimcinin birden fazla yerden teklif alması pek rastlanan bir durumdu. Benden yaşlı ve hiç iş başvurusu yapmamış birden fazla fizikçi tanıyorum.

İşler şimdi bambaşka. Üniversiteler 1970'lerin ortalarında büyümeyi bıraktılar, ama daha önceki dönemlerden işe alınmış profesörler düzgün bir hızla lisansüstü öğrencisi yetiştirmeye devam ettiler. Sonuç olarak fizikte ve diğer bilim dallarında gözle görülür bir üretim fazlası var. Bunun sonucunda da akademik hiyerarşinin her seviyesi için son derece ateşli bir çekişme ortaya çıktı. Öte yandan fon kurumlarından yardım alabilecek

insanları işe almak da öne çıkmaya başladı. Bu durum kendilerinden önceki neslin oluşturduğu araştırma programları yerine kendi fikirlerinin peşinden gitmek isteyenler için olasılıkları gayet kısıtladı. Kısacası, bir akademik konum garantileyip, riskli ve orijinal fikirlerin peşinden gitmek isteyen yaratıcı kişilerin saklanabileceği köşeler azaldı.

Buna bağlı olarak üniversitelerin artık –bir ya da iki nesil öncesine kıyasla– çok daha profesyonelleşmiş olmasını da saymalıyız. Bölüm elemanlarının sayısındaki artış durmuş olsa da yöneticilerin gücünde gözle görülür bir yükselme oldu. Böylelikle, işe almalarda, bölüm profesörlerinin bireysel değerlendirmeleri yerine, araştırma fonu olmak, atıf sayısının yüksekliği gibi istatiksel ilerleme ölçütleri baskınlaştı. Bu durumda da genç bilimciler ana akımdan ayrılıp yeni araştırma programları oluşturmada zorlanmaya başladılar.

Biz profesörler, kendi alanımızdakiler hakkında tarafsız değerlendirme çabasına girdiğimizde, neredeyse otomatik olarak bizle aynı fikirde olanı mükafatlandırmaya ve karşıt olanı da cezalandırmaya meylederiz. Akademik politikayı aşmış olsak bile diğer bilimcileri genellikle tek boyutlu kişiselleştirmeler üzerinden yargılarız. Bölüm kurullarında ve kendi aramızda konuşurken, kimin "iyi" olup kimin olmadığından bahsederiz, sanki bunun ne demek olduğunu biliyormuşuz gibi. Bir insanın hayatı "Ayşe, Ahmet kadar iyi değil" gibi bir cümleye indirgenebilir mi? Sanki zekilik ve çok çalışma dışında bir şey gerektirmeyen işler, düşünsel alanı tarama ve hayal gücüne yönelik araştırmalardan daha fazla değer görüyor. Entelektüel modalar çok öneme binmiş durumda ve bunlara prim vermeyenlerin kariyeri de çok riskli.

Bir keresinde, bir projede bir generalle çalışmıştım; bir subay okulunda müdürlük yaptıktan sonra iş danışmanı olmuştu. Üniversitelerle çalışma hakkındaki olumsuz deneyimlerini anlatmıştı. Ona sorunun temelinde ne olduğunu düşündüğünü sorduğumda bana "Her deniz subayına öğrettiğimiz temel bir şey vardır ama tanıdığım hiçbir üniversite yöneticisi bunu bilmiyor: *Yönetmek ile liderlik arasında çok büyük bir fark var-*

dır." Erzakların elde edilmesini yönetebilirsiniz ama askerleri savaşa ancak liderlikle götürebilirsiniz." Aynı fikirdeyim. Üniversitelerde geçirdiğim zaman boyunca liderlikten çok daha fazla yönetim gördüm.

Bu sorun şüphesiz ki sadece bilimle sınırlı değil. Ders programlarının oluşumu ve öğretme tekniklerindeki yenilikler ortaçağ hızında ilerliyor diyebiliriz. Herhangi bir değişim bölüm kurulları tarafından onaylanmalıdır ve genelde profesörler on yıllardır uyguladıkları öğretim metodunda yanlış hiçbir şey görmezler. Üniversitelerin değişime nasıl dirençli olduklarını erken öğrendim. İlk lisans dersinin kuantum fiziği olduğu bir üniversitede çalışma şansına erişmiştim. Bu enderdir. Kuantum fiziğinin Newton mekaniğini neredeyse seksen yıl önce aşmış olmasına rağmen, Kuzey Amerika'daki neredeyse her üniversite kuantum mekaniği dersini üçüncü yıla kadar erteler, bu da sadece fiziksel bilimlerin öğrencilerine verilir. İlk yıl kuantum fiziği dersi hakkında tecrübem olduğu için bunu Harvard Üniversitesinde lisansüstü öğrecisiyken uygulamak istedim. Genç bir bölüm üyesi buldum; Howard Georgi dersi beraber vermeyi kabul etti, ama ders okulun fen-edebiyat dekanı tarafından veto edildi. Dekan bunun bizim önerimizle doğrudan bir alakası olmadığını, komitelerin onay vermediğini söyledi ve "Eğer her profesörün her istediği dersi vermesine izin verirsek, eğitimsel bir kaos yaşarız," diye ekledi. Eğitimsel kaosun bu kadar kötü bir fikir olup olmadığından emin değilim; her şeye rağmen Harvard Üniversitesinde hâlâ birinci sınıf lisans öğrencileri için bir kuantum dersi yok.

Ne yazık ki yıllardır, fizik derecesi alarak mezun olan Amerikan kökenli öğrencilerin sayısı düşüyor. Bunun fizik hakkında akademik konumlar üzerindeki yarışmayı azaltabileceğini düşünebilirsiniz. Böyle değil; çünkü bu azalma gelişen ülkelerdeki parlak ve çalışkan öğrencilerin aldıkları doktora dereceleriyle fazlasıyla dengeleniyor. Diğer gelişmiş ülkelerdeki durum da böyle.

Yale Fizik Bölümünün bu olguyu araştırmak için oluşturduğu komitedeyken ve sonraları kendi merakımdan fiziği bırakan öğrencilere bunu neden yaptıklarını sordum. Öne sürdükleri bir

sebep fizik bölümü programlarının can sıkıcı olduğuydu; ilk yılda lisede işlenen konular tekrar ediliyor ve kuantum kuramı, kozmoloji, kara delikler gibi heyecan verici konular hakkında bir şeyler yoktu. Fizik öğrencilerindeki bu azalmayı tersine çevirmek amacıyla çalıştığım bütün üniversitelerde ilk yıl programına bir kuantum mekaniği dersi eklemeyi önerdim. Her seferinde bu önerim reddedildi ama iki defa kuantum kuramına değinen küçük demolar yapmama izin verilmişti. Bunlar başarılı oldu ve bunlara katılan bazı öğrenciler şimdi başarılı bir kariyerin başındalar.

Amacım bir ders programı reformu üzerine tartışmak değil, ama bu örnek en azından üniversitelerin yaratıcılık için iyi bir ortam oluşturmaktan uzak olduğunu gösteriyor, konu fiziğin seksen yıl gerisinde bir programı modernleştirmek olsa bile.

Tüm disiplinlerdeki bilimciler alanlarındaki gelişmenin hızının azalmasına üzülüyorlar. Bölümleri yöneten kıdemli bilimcilerin gençliklerindeki cesaret ve yaratıcılığı kaybetmesi sonucu elden kaçan olasılıklar hakkında üzüntülerini acı bir dille belirten pek çok biyolog ve deneysel fizikçi tanıyorum. Eğer iyi bir fikir akademik dünyanın alt kademelerinden geliyorsa pek dikkate alınmıyor; bunun tersine yüksek mevkilerdekilerin fikirleri de fazlasıyla ciddiye alınıyor.

Onları teşvik eden sosyolojiden bahsetmeden bu olumsuz yapıları tartışamayız. Biz fizikçilerin doğanın yasalarını açıklayacak kadar kibrimiz varsa, akademinin sosyolojisi ve onun yapıcı olmayan karar alma mekanizmalarıyla çevrelenmiş olmasını da tartışabilmeliyiz.

"Sosyoloji" kelimesinin bugünlerde diğer disiplinlere oranla sicim kuramcıları arasında çok daha fazla kullanılıyor olmasına dikkat çekmek isterim. "Topluluğun genel fikri" anlamında kullanılıyor gibi. Genç sicim kuramcılarıyla bu konuları tartışırsanız çoğu kez "Kurama inanıyorum, ama sosyolojisinden nefret ediyorum" dediklerine şahit olursunuz. Eğer sicim kuramı konferanslarında tartışılan konuların darlığına ya da moda konuların yıldan yıla hızla değişmesine parmak basacak olursanız bir sicim kuramcısı buna katılacak ve "Bu durumu beğen-

miyorum ama işin sosyolojisi bu" diye ekleyecektir. Birden fazla arkadaşım bana şöyle bir tavsiyede bulundu, "Topluluk sicim kuramının doğru olduğuna karar verdi ve bu konuda yapacak bir şeyin yok. Sosyolojiyle savaşamazsın."

Gerçek bir sosyolog bir topluluğun dinamiklerini anlamak için güç ilişkilerini araştırmamız gerektiğini söyleyecektir. Kimin kim üzerinde gücü var ve bu güç nasıl kullanılıyor? Bilimin sosyolojisi gizemli bir kuvvet değil; kıdemli ve sözü geçen bilimcilerin genç bilimcilerin kariyerleri üzerindeki etkiye gönderme yapıyor. Biz bilimciler bunun hakkında konuşmaktan imtina ediyoruz çünkü durum bize bilimin örgütlenmesinin belki de tamamen nesnel ve akılcı olmayabileceğine işaret ediyor.

Ama bu konu üzerinde uzun zaman düşündükten sonra kuramsal fiziğin sosyolojisi hakkında konuşmamız gerektiğine karar verdim çünkü genel olarak bu "sosyoloji" dediğimiz olgu ilerlemeye gözle görülür engeller çıkarıyor. Sicim kuramcılarının çoğunun araştırmalarını en iyi saiklerle yapan ahlaklı kimseler olmalarına rağmen, alanın sosyolojisinden kaynaklanan bazı olgular bilimsel topluluğun tümünü tanımlayan ideallerden sapmalara yol açıyor. Bunlar kuramsal fiziğin metotlarında ilerlemeyi geciktirici hastalıklara dönüştüler. Sorun sicim kuramının araştırmaya değer olup olmaması ya da destek görüp görmemesi değil. Sorun sicim kuramının deneysel öngörülerinin kıt olmasına rağmen nasıl olup da temel fiziğin ilerlemesine ayrılmış kaynakları tekelleştirebilip aynı değerde diğer yaklaşımlar üzerindeki araştırmaları neredeyse boğabilmesinde. Sicim kuramının içerisinde bile sorulacak soruların listesini ve ilerlemenin ihtiyaç duyduğu açık fikirli bilimcilerin yaratıcı ve bağımsız yaklaşımlarını kısıtlayıcı sosyolojik kuvvetler olduğuna dair yeterince emare var.

Aslında kuramsal fizikte her zaman başat bir alan olmuş olduğunu söylemeliyim. Bir zamanlar bu nükleer fizikti sonra temel parçacıklar fiziği bayrağı ele aldı. Sicim kuramı sadece en son örnek. Belki de fizikçiler topluluğunun organizasyon şekli her zaman tek bir başat alan olmasına yol açıyordur. Eğer durum böyleyse sebeplerini incelemeliyiz.

Dışardan bakanların sicim kuramı topluluğu hakkında ilk fark ettikleri şey yüksek seviyelere varmış bir kendine güvendir. 1984 yılında ilk süpersicim devrimini görmüşlerden biri olarak bu yeni kurama ilişmiş o zafer havasını hatırlıyorum. Alanın genç yıldızlarından Dan Friedan, "Her şey önümüzdeki bir, bir buçuk yılda bitecek", demişti bana. "Kuramsal fizikte hâlâ yapacak bir şeyler varken bunda yer alırsan iyi edersin" diye de eklemişti. Bu, işlerin çabucak nihayete ereceğine dair söylenen sözlerden sadece biriydi.

Şüphesiz ki işler çabucak bitmedi. Ama devamında gelen inişli çıkışlı zamanlara rağmen çoğu sicim kuramcısı kuramın doğruluğu ve onun üzerinde çalışamayanlara ya da çalışmak istemeyenlere nazaran kendi üstünlükleri hakkında son derece emin olmaya devam ettiler. Çoğu sicim kuramcısı için –özellikle kendilerinden önceki zamanın fiziği hakkında hafızaya sahip olmayan gençler– yetenekli bir fizikçinin şansı yakaladığında sicim kuramı dışında bir alan seçmesi anlaşılamaz bir durumdur.

Bu durum diğer alanlardaki fizikçileri soğutuyordu haliyle. Aşağıda, SLAC'de parçacık fizikçisi olarak çalışan JoAnne Hewett'in bloğundan bir alıntı var:

> Fizikçi standartlarından bakıldığında bile bazı sicim kuramcılarının kendini beğenmişliklerini hayretle karşılıyorum. Bazıları gerçekten de sicim dışı çalışan kuramcıların daha aşağı bilimciler olduğuna inanıyor. Bunu birbirleri için yazdıkları referans mektuplarının her yerine saçılmış olarak görebilirsiniz ve bazıları bunu yüzüme bile söylediler... Sicim kuramının o kadar önemli olduğu düşünülüyor ki diğer tüm kuramların yok olması pahasına bile öne çıkarılıyor. Bunun iki nedeni var: Sicim kuramcıları öğretim kadrolarına oldukça dengesiz bir şekilde fazlaca yerleştiler ve çoğu durumda bunun yetenekle bir ilişkisi yok ve genç sicim kuramcılarının çoğu parçacık fiziğinde yeteri kadar bilgili değiller. Bazıları doğadaki temel parçacıkları sayarken bile zor anlar yaşıyor. Bunlar alanımızın uzun vadeli geleceği için endişe verici.[1]

---

[1] http://www.perimeterinstitute.ca/activities/scientific/cws/evolving_laws/.

Dr. Hewett'in bahsettiği bu kendini beğenmişlik en başından beri sicim kuramı camiasının bir özelliği olmuştur. Yirminci yüzyılın belki de en büyük astrofizikçisi, Subrahmanyan Chandrasekhar, yeni almış olduğu Nobel Ödülünün bir kutlaması olarak Princeton Üniversitesine 1980'lerde yaptığı bir ziyaret sırasında başından geçen bir olayı anlatmayı pek sever. Akşam yemeği masasında kendini istekli ve samimi bir gencin yanında bulur. Fizikçilerin genelde yaptığı gibi gence "Bugünlerde ne üzerine çalışıyorsunuz?" diye sorar. Cevap şudur: "Yirminci yüzyılda fizikte gerçekleşmiş en önemli gelişme olan sicim kuramı üzerine çalışıyorum." Bu genç bununla yetinmeyip Chandrasekhar'a eğer 1920'lerde kuantum kuramını hemen kucaklamayanlar gibi modası geçmiş olmak istemiyorsa neler üzerine çalışıyorsa hemen onları bırakıp sicim kuramına geçmesini de tavsiye etmiş.

Chandrasekhar, "Genç adam," diye cevaplamış, "Werner Heisenberg'i tanıyordum. Sizi temin ederim ki Heisenberg kimseye çalıştığı konuyu bırakmasını ve kuantum kuramına geçmesini söyleyecek kadar kaba değildi. Ve kesinlikle, doktorasını neredeyse elli yıl önce almış birine modasının geçmek üzere olduğunu söyleyecek kadar da saygısız değildi."

Sicim kuramcılarıyla zaman geçiren herkes bu tür bir kendine aşırı güvene aşina olur. Konuşulan konu ne olursa olsun, dışardan biri tarafından söylenmediği sürece, bahsi geçmeyen tek şey kuramın belki de basitçe yanlış olma olasılığıdır. Eğer tartışma sicim kuramının bir kuramlar manzarası sunması ve öngörülerde bulunmamasına gelirse sicim kuramcıları hemen bilimin tanımını değiştirmek üzerine maniler okur.

Bazı sicim kuramcılarıysa, kuramın belki de düpedüz yanlış olabileceğini düşünmek yerine, onun insanlar tarafından anlaşılamayacak kadar esrarengiz olduğuna inanmayı tercih ederler. Bir fizik bloğundaki bir yazı bu yaklaşımı güzelce ortaya koyuyor: "Bir köpeğin kuantum mekaniğini anlamasını bekleyemeyiz. Belki de insanların sicim kuramını anlaması konusunda da böyle bir sınıra yaklaşıyoruz. Belki bir yerlerde bir uygarlık vardır ve aramızdaki fark köpek aklı ile bizimki kadardır ve

onlar sicim kuramını iyice anlayıp daha ileri bir kurama geçiş yapmışlardır..."[2] Aslında, sicim kuramcıları kuramın doğruluğuna son derece inanmakla beraber kuramın ne olduğu hakkında hiçbir fikirleri olmadığını da söylerler. Başka şekilde söylersek sicim kuramı ardından gelen her şeyi kapsayacaktır. Bunu ilk duyduğumda şaka olduğunu düşünmüştüm ama dördüncü defa sorduğumda konuşanın ciddi olduğunu anlamıştım. İleri Araştırmalar Enstitüsünde çalışan ünlü bir kuramcı olan Nathan Seiberg'in bile –gülümseyerek– şunu söylediği görülmüş: "Eğer sicim kuramının sonrasında bir şeyler varsa ona sicim kuramı diyeceğiz."[3]

Sicim kuramı camiasının bunlarla ilintili diğer bir özelliği de bir tür hak ediş duyusu ve sicim kuramının çözmeyi amaçladığı sorunlar hakkında diğer yaklaşımlar üzerinde çalışanlara yönelik bir saygı eksikliğidir. Gerçekten de, normal olarak sicim kuramcıları sicim kuramı olarak adlandırılmayan konulara ilgisiz ve onlar hakkında bilgisizdirler. Kuantum kütleçekim toplantılarının aksine önemli sicim kuramı konferanslarına karşıt görüşlüler makale sunmak üzere davet edilmezler. Bu durum da sicim kuramcılarının sicim kuramının tek yol olduğuna inançlarını artırmaktan başka bir şeye yaramaz. Alternatif yaklaşımlar hakkındaki bu saygı eksikliği bazen hakir görmeye kadar varır. Yakınlarda gerçekleşmiş bir sicim kuramı toplantısında Cambridge Üniversitesi Basımevinde çalışan bir editör bana bir sicim kuramcısının onlara bir kitap yazmayı hiç düşünmeyeceğini çünkü yayınevinin ilmek kuantum kütleçekim üzerine bir kitap çıkartmış olduğunu söylediğini iletmişti. Bu tür durumlar olması gerektiği gibi az da değil.

Sicim kuramcıları fizik dünyasındaki etkin konumlarının farkındalar ve birçoğu da bunun hak edilmiş olduğunu düşünüyor; eğer kuram bunu doğrulamazsa, konu üzerinde bu kadar yetenekli insanın çalışıyor olması kesinlikle yeter. Sicim

---

2 String Theorist lakaplı kullanıcıdan 9 Kasım 2004 tarihinde şu internet adresinde yapılan yorum: http://groups.google.com/group/sci.physics.strings/

3 *Guardian Unlimited*, 20 Ocak 2005.

kuramının söyledikleri hakkında bir uzmana detaylı sorular sormaya başlarsanız size sanki önemli bir kulübe girme şansını tepmek için neler yapılmalıysa onları yapıyormuşsunuz gibi şaşkınlıkla bakacaktır. Bu bazı açık fikirli sicim kuramcıları için geçerli değil; ama genç sicim kuramcılarının kabilenin tüm varsayımlarını paylaşmayan biriyle konuştuğunu anladığında yüz hatlarının gözle görülür ve kendine has bir şekilde kasıldığına göz ardı edemeyecek kadar çok şahit oldum.[4]

Sicim kuramının tanımlayıcı diğer bir özelliği de, fiziğin diğer alanlarının aksine, sicim kuramcısı olanlar ile olmayanlar arasında keskin bir ayrım olmasıdır. Sicim kuramı üzerine birçok araştırma yazmış olabilirsiniz, ama bu sicim kuramcıları tarafından onlardan biri olduğunuz şeklinde algılanacağınız anlamına gelmez. En başta bunu kafa karıştırıcı bulmuştum. Değişik yaklaşımları deneyerek onlardan öğrenebildiklerimi süzmek gibi eski bir metot uyguluyordum. En başlarda, kuantum kütleçekim üzerine yazdıklarım dahil çalışmalarımın çoğunu sicim kuramını ardalandan bağımsız hale getirme ve kuramdaki bu gediği giderme çabaları olarak görüyordum. Nihayetinde bazı arkadaşlarım bana sicim kuramı camiasının bir parçası olarak görülebilmem ve böylelikle konuda bir iz bırakma hakkında azıcık da olsa bir ümidim olması için sadece sicim kuramı üzerine çalışmamın yetmeyeceğini, esas olarak sicim kuramcılarının o esnada öne çıkardıkları konulara yoğunlaşmam gerektiğini ifade ettiler. Bu arkadaşlar, eğer böyle yapsaydım, bunun yargımı zedeleyeceğini veya akademik özgürlüğümü taciz edeceğini düşünmemişlerdi.

---

[4] Sicim kuramının şu ya da bu sonucunu tartıştığım makaleler üzerine aldığım iletilerden üçünde gönderici "güçlü" kuram camiasına atıfta bulunuyordu. Şunun gibi: "terdirgemesel sonluluk (ya da Maldacena savı ya da S-ikiliği) ispatlanmamış olsa da, "güçlü" kuram camiasında kimse yanlış olabileceğini düşünmüyor." Bir kere olsa buna rastlantı diyebilirdik; üç kere oldu mu buna Freudcu dil sürçmesine tipik örnek oluşturur. Sicim camiasının sosyolojisinin acaba ne kadarı o çok kolayca tanınabilecek en güçlü grupta olma isteğinden oluşur? [İngilizcede strong (güçlü) ve string (sicim) kelimeleri sadece üçüncü harfleriyle ayrışır –çn.]

Geniş bir ilgi yelpazem var ve kendi alanım dışındaki konferanslarda da çok bulundum. Ama sadece sicim kuramı konferanslarında insanlar bana gelip "*Sen* burada ne arıyorsun?" diye sorarlar. Sicim kuramı üzerine çalıştığımı ve diğerlerinin ne yaptığını merak ettiğimi söylediğimde kaşlarını sorgularcasına çatarak "Ama sen o ilmek adamı değil misin?" derler. Hiçbir astrofizik, kozmoloji, biyofizik hatta postmodernite konferansında bana kimse orada ne yaptığımı sormadı. Bir keresinde bir sicim kuramı konferansında önde gelen bir kuramcı elini uzattı ve "Eve hoş geldin!" diyerek beni karşıladı. Bir başkası, "Seni burada görmek çok güzel! Senin hakkında endişelenmeye başlamıştık" dedi.

Herhangi bir yılda sicim kuramının en fazla iki üç alanında yoğun araştırmalar yapılır. Bunlar yıldan yıla değişim gösterir ve modalar o yılın ana sicim konferanslarındaki başlıklardan anlaşılabilir. Çoğunlukla konuşmaların en az üçte ikisi iki yıl önce önemle üzerinde durulmamış ve iki yıl sonra da konferansta yer almayacak yönlerdeki araştırmalar hakkındadır. Gençler başarılı bir kariyer için bu modaların iki ya da daha fazlasını hızlı bir şekilde izlemeleri gerektiğini bilirler; iyi bir doktora sonrası araştırma pozisyonu ve nihayetinde iyi bir yardımcı doçentliğe yetecek kadar. Konunun ileri gelenleri hakkında bunun üzerine konuşursanız anlarsınız ki onlar, samimi olarak çok sayıda yetenekli insanın çabalarını belirli bir yönde yoğunlaştırmanın serbest, bağımsız ve çok yönlü düşünmeyi özendirmekten daha verimli olduğuna, sonuçların daha hızlı bulunacağına inanırlar.

Bu tek tip ya da kıdemli bir sicim kuramcısının deyimiyle monolitik ve "disiplinli" metot maalesef üç kötü sonuca yol açtı. Birincisi iki ya da üç yılda çözülemeyen problemler terk edildi ve çoğunlukla da tekrar ele alınmadı. Sebep basit ve vahşi: Artık modası geçmiş bir sorun üzerinde geçmişte zar zor kazandıkları uzmanlıktan vazgeçmek istemeyen ve yeni yönlere eğilmeyenler akademik konum olasılıklarından mahrum kaldılar. İkincisi bu alan artık oldukça kıdemli diyebileceğimiz az sayıda insanın fikirleri ve eğilimleri tarafından yönlendiriliyor. Geçen on yıl

boyunca sadece iki genç sicim kuramcısı, Juan Maldacena ve Raphael Bousso alanın gidişatını değiştiren keşifler yaptılar. Bu durum fiziğin diğer alanlarıyla keskin bir tezat oluşturuyor: Genel olarak önemli fikirlerin çoğu yirmi otuz yaşlarındaki insanlardan gelir. Üçüncüsü sicim kuramı kendi pek geniş camiasındakilerin çabalarını ve yeteneklerini oldukça verimsiz bir şekilde kullanıyor. Çabaların tekrarı sık gerçekleşiyor ve birçok önemli olabilecek fikir de araştırılmıyor. Eğer bir üniversitenin doktora sonrası araştırmacı alma komitesindeyseniz bu daralmayı kolaylıkla hissedebilirsiniz. Kozmoloji, kuantum bilgi kuramı ya da kuantum kütleçekim üzerinde adayların sayısı kadar çoğunu kimsenin hiç duymadığı yepyeni araştırma önerisi var. Sicim kuramı kanalındaysa başvurularda bir iki aynı tip araştırma önerisini defalarca görürsünüz.

Gençler şüphesiz ki ne yaptıklarını biliyorlar. Bu tür komitelerde yeteri kadar tecrübem oldu ve diyebilirim ki bazı istisnalar dışında sicim kuramcılarının başvuruları değerlendirme şekli diğer alanlara göre farklılıklar gösteriyor. Halihazırda ilgi odağında bulunan sicim konuları üzerinde zekice matematiksel çalışmalar yapabilmek yeni fikirler üretebilmeye nazaran değer görüyor. Konunun ileri gelenleri dışında kimseyle makale yazmamış ve araştırma programı bağımsız düşünme ve özgünlük taşımayan biri kuantum kütleçekim üzerine araştırma yapan bir kuruma çoğunlukla kabul edilmez. Ama bu özelliklerle bir sicim kuramı merkezine kabul edilmek neredeyse kesindir. Beni heyecanlandıran araştırmacı genelde tek yazarlı makaleleri olan ve riskli, içerikli ve şaşırtıcı fikirleri olan biridir ama bu sicim kuramcısı arkadaşlarımın hiç hoşuna gitmez.

Beraber zaman geçirdiğim, örneğin kuantum kütleçekim ve kozmoloji üzerine çalışan diğer camialarda açık sorular hakkında geniş bir fikir çeşitliliği vardır. Eğer konu üzerinde çalışan, genç ya da yaşlı, beş kişiyle konuşursanız beş değişik yönelim duyarsınız. Kuram manzarası ve antropik ilke üzerine yeni fikirler dışında sicim kuramı camiası şaşırtıcı bir fikir birliğine sahiptir. Aynı şeyleri, bazen kelimesi kelimesine aynı olarak değişik insanlardan duyarsınız.

Bu sınıflandırmaya itiraz edecek bazı genç sicim kuramcıları biliyorum. Camia içinde geniş bir fikir yelpazesi olduğunu iddia ederler; konunun dışındakilerden gizli tutulan bir yelpaze. Bunu bilmek iyi ama insanların arkadaşlarına kendi aralarında ne söylediği konumuzun dışında olmalı. Hatta bu fikirlerin açık olmak yerine özel ve gizli olarak paylaşılması durumu konuşmaları ve araştırma programını düzenleyen bir hiyerarşi olduğunu düşündürüyor.

Sicim kuramının önde gelenleri tarafından araştırma programının daraltılması can sıkıcı olması bir yana neredeyse her zaman ilerlemenin yavaşlamasına yol açtı. Bunu şu açıdan biliyoruz: Konuda ciddi ilerlemelere yol açan fikirler genelde öne sürülmelerinden yıllar sonra önem kazandılar. Örneğin sicim kuramının aslında çok geniş bir kuramlar listesi olduğu 1986 yılında Andrew Strominder tarafından yayımlandı ama sicim camiası tarafından geniş bir katılımla tartışılmaya ancak 2003 yılında yayımlanan Stanford'dan Renata Kallosh ve çalışma arkadaşlarının makalesinin sonrasında açıldı.[5] İşte, CERN'de çalışan ve bilinen bir sicim kuramcısı Wolfgang Lerche'in yakın geçmişte söylediklerinden bir alıntı:

> Yani bu fikirlerin 1980'lerin ortalarından beri biliniyor olmasından rahatsız oluyorum; dört boyutlu sicim oluşumlarını çalışan bir makalede olası sicim kuramı taban seviyelerinin sayısı 10^{1500} seviyesinde tahmin edilmişti; bu çalışma ihmal edildi (çünkü o zamanki felsefeye uymuyordu) ama şimdi bu ihmali yapanlar kuram manzarasını "yeniden" keşfediyor, makaleler ve hatta kitaplar yazıyor... Bu tartışmanın tamamı 1986/1987 yıllarında yapılabilirdi, hatta yapılmalıydı. O zamandan bu zamana değişen şey bazılarının inandığı şeyler ve şu anda gördüğünüz durum da Stanford propaganda makinesinin tam güçle çalışıyor olması.[6]

Aynı şekilde ben de 1992 yılında sicim kuramının bir kuramlar manzarası olarak görülmesi gerektiğini önermiştim. Bu ça-

5 S. Kachru ve R. Kallosh, A. Linde and S. Trivedi, "De Sitter Vacua in String Theory," hep-th/0301240.

6 6 Nisan 2004 tarihinde şu adreste yayımlandı: groups.google.com/group/sci.physics.strings/

lışma da göz ardı edildi.[7] Bu tekil bir örnek değil. İki adet on bir boyutlu süpersimetrik sicim kuramı 1984 yılında gerçekleşen ilk sicim devriminden önce keşfedilmişti ama on yıl sonra tekrar canlandırılana kadar ihmal edildiler. Bunlar on bir boyutlu süper-kütleçekim ve on bir boyutlu süperzar kuramlarıydı. 1984 ve 1995 yılları arasında bu konuda az sayıda kuramcı çalıştı ama sicim kuramı camiasından marjinalleştirildiler. Bazı Amerikan sicim kuramcılarının bu "Avrupalı süper-kütleçekim fanatiklerine" ettiği birçok aşağılayıcı atfı hâlâ hatırlarım. 1995 yılından sonra bu kuramların sicim kuramıyla birleştiği ve M-kuramında yer aldığı önerildi ve onlar üzerine çalışanlar sicim kuramı camiasına tekrar kabul edildiler. Açıktır ki eğer bu fikirler bu kadar uzun süre göz ardı edilmeseydi ilerleme daha çabuk gerçekleşecekti.

Sicim kuramının temel sorunlarını çözmesine yardım edebilecek birçok fikir vardır ama bunlar geniş çaplı bir irdelemeye tâbi olmadılar. Örneğin oktonyon denilen bir sayı sisteminin yüksek boyutlar ve süpersimetri ilişkisi hakkında derin bir algının temeli olabileceği eski bir fikirdir. Bir başka fikir olarak, daha önce bahsettiğim gibi sicim kuramının ya da M-kuramının ardalandan bağımsız olması gerektiğini söyleyebiliriz. "Gelecek Süpersicim Devrimi" başlıklı 2005 yılı sicim konferansında Stanford Kuramsal Fizik Enstitüsü başkanı Stephen Shenker bu olası devrimin belki de sicim kuramı dışından geleceğini söylemişti. Eğer alanın önderleri bunu kabul ediyorsa neden gençlerin daha geniş konulara eğilmesini teşvik etmiyorlar?

Araştırma konularının darlığı sicim camiasının genel olarak az sayıda kişiye duyduğu derin saygının bir ürünü. Gördüğüm bilimciler arasında sicim kuramcıları fikirlerini ifade etmeden önce Edward Witten gibi konunun önderlerinin ne diyeceğini merak eden yegâne araştırmacı camiası. Şüphesiz ki Witten açık ve derin düşünebilen birisi ama herhangi bir alanda tek bir kişinin fikirlerinin neredeyse otoriter anlamda algılanması

---

[7] L. Smolin, "Did the Universe Evolve?" *Class. Quant. Grav.*, 9:173-91 (1992).

iyi değil. Newton ve Einstein da dahil olmak üzere açıkça inandıkları konulardan bazılarında yanlışlığa düşmemiş bilimci yoktur. Çoğu zaman, bir konferanstan sonra ya da bir konuşma esnasında, tartışma götürür bir sorun ortaya çıktığında birisi mutlaka sorar, "İyi de, bu konuda Ed ne düşünüyor?" Bu çoğu zaman konsantrasyonumu bozar ve bazen de bunu göstermek için sorarım: "Bak, Ed'in ne düşündüğünü öğrenmek istediğimde ona sorarım. Ne düşündüğünü *sana* soruyorum, çünkü fikrini merak ediyorum."

Geçişimsiz geometri, Witten tarafından benimsenene kadar sicim kuramcıları tarafından ihmal edilen fikirlere başka bir örnek. Bunu icat eden Alain Connes şu öyküyü anlatıyor:

> 1996 yılında Fizik Bölümünde bir konuşma yapmak için Chicago'ya gittim. İyi tanınan bir fizikçi oradaydı ama konuşma bitmeden çıktı. Bu fizikçiyi iki yıl görmedim ama Oxford yakınlarındaki Rutherford Laboratuvarındaki Dirac Forumunda aynı konuşmayı verdiğimde tekrar karşılaştık. Çok ilgili ve ikna olmuş gözüküyordu. Sonra kendi konuşmasını yaparken benimkini gayet olumlu bir şekilde andı. Bu bana garip geldi çünkü konuşmamda değişiklik yoktu ve ilk tepkisini hatırlıyordum. Sonra otobüsle Oxford'a giderken yan yana oturduk ve ona sordum, "Nasıl oluyor da aynı konuşma bitmeden Chicago'da çıkıp gidiyorsun da şimdi pek bir beğeniyorsun?" Bu kariyerinin başlarında biri değildi, kırklarında biriydi. Cevabı şu oldu: "Witten'ı Princeton kütüphanesinde senin kitabını okurken görmüşler!"[8]

Bu tür davranışların biraz azaldığını söylemem gerekir en azından kuram manzarasının yol açtığı kargaşadan sonra. Geçen yıla kadar bir sicim kuramcısından herhangi bir şüphe kırıntısı duymamıştım. Şimdilerde gençler kuramda bir "krizden" bahseder oldular. "Önderlerimizi yitirdik. Bundan önce önemli yönün hangisi olduğunu, hangi konuda çalışmamız gerektiğini bilirdik. Şimdi gerçek bir yol gösterici yok," ya da (sinirli bir şekilde birbirlerine dönüp) "Witten'ın sicim kuramını bıraktığı doğru mu?"

---

[8] www.imp.ac.ir/IPM/news/connes-interview.pdf (izin alınarak kullanılmıştır).

Sicim kuramının çoğu kimse tarafından itici bulunan bir özelliği de özellikle camiadaki gençler arasında yaygın olan ve sadece iman olarak adlandırılabilecek bir tavırdır. Onlar için sicim kuramı bir tür dine dönüşmüş durumdadır. Sicim kuramcılarının önerilerini irdeleyen ve soruşturan makaleler yazanlar düzenli bir şekilde en hafifinden "Dalga mı geçiyorsun?" ya da "Bu bir şaka mı?" içerikli e-postalar alır. İnternet sitelerinde ve tartışma gruplarında sicim kuramının "düşmanları", bu tür sitelerin pek de gem vurulmamış olmasını bilmemize rağmen, sicim dışı kuramcıların mesleki yetkinlikleri ve zekâları aşikâr seviyede hoş olmayan terimler üzerinden tartışılır. Bu durumda sicim kuramcılarının en azından bir grubunun kendilerini bilimden ziyade bir haçlı seferinin mensupları olarak gördüğünü çıkarsamak zor değil.

Bu kabadayılıkla beraber el ele giden başka bir tavır da deneysel verileri olabilecek en iyimser şekilde okumaktır. Kuantum kütleçekim camiasındaki dostlarım açık soruların çözümü üzerine dik kafalı ve genelde kötümser bir yaklaşım sergilerler. İlmek kuantum kütleçekim kuramcıları arasında ben büyük iyimser olarak algılanıyorum. Ama benim iyimserliğim birçok sicim kuramcısınınki yanında sönük kalıyor. Bu özellikle cevapsız kalmış büyük sorular hakkında doğrudur. Tartıştığımız gibi, olayların "sicimsel" yorumu sicim kuramcılarının çoğunun inandığı ama hiç ispatlanmamış varsayımlara dayanır. Bazı sicim kuramcıları ne olursa olsun bunlara inanmaya devam ediyor. İyimserlik bir dereceye kadar iyi olabilir, ama düpedüz yanlış okumalara yol açmadığı sürece. Maalesef, işin kitaplar, makaleler ve televizyon programlarıyla halka sunulan şekli yayımlanmış bilimsel edebiyatın düz bir okumasından edinilenlerden çok farklı. Örneğin Leonard Susskind'in 2005'te yayımlanmış kitabı *Kozmik Manzara* hakkında fizikçiler için yayımlanan bir ticari dergide kitabı gözden geçiren biri var olan birçok sicim kuramı hakkında şunları yazmış:

> Bu sorun M-Kuramı tarafından çözüme kavuşturuluyor. Bu biricik, her şeyi kapsayan kuram var olan beş süpersimetrik sicim

kuramını on bir uzayzaman boyutunda birleştiriyor ve zar denilen yüksek boyutlu nesneler içeriyor. M-kuramının başarıları arasında, Hawking tarafından makroskobik usavurumlarla gösterilmiş olan kara delik entropisinin ilk mikroskobik açıklaması var. M-kuramının sorununun, denklemleri biricik olsa bile milyarlarca ve milyarca değişik çözümü var.[9]

Burada en göze batan abartı M-kuramının sadece bir öneri yerine kesin bir kuram olarak var olması ve denklemlerinin tanımlılığıdır; ikisi de doğru değil. Kara delik entropisi hakkındaki sonuç da abartılı, çünkü 9. Bölümde de bahsetmiş olduğumuz gibi, sicim kuramı sadece özel ve pek de tipik olmayan kara delikler için geçerlidir.

Bu tür abartıları sicim kuramını topluma açıklamak amacındaki internet sitelerinde de görebilirsiniz. Örneğin:

Gravitonu, yani kütleçekim kuvvetini, betimleyen bir parçacık dahi var ki bu sicim kuramının bu kadar ilgi çekmesinin önemli bir sebebi. Önemli olan, iki gravitonun etkileşmesini sicim kuramında anlamlı hale getirebiliyoruz ki bu kuantum alan kuramında mümkün değil. Sonsuzluklar yok! Ve kütleçekim elle eklenen bir şey de değil. Bir sicim kuramında orda olması şart. Kısacası, sicim kuramının ilk büyük başarısı tutarlı bir kuantum kütleçekim kuramını içermesi.[10]

Bu ağ sitesini yönetenlerin hepsi biliyorlar ki şu ana kadar kimse "sonsuzlukların olmadığını" ispatlamadı. Ama bu varsayımın doğruluğundan emin gözüküyorlar ve onu bir olgu olarak kabul ediyorlar. Bundan sonra da işi beş değişik süpersicim kuramına getiriyorlar:

Ve sonra anlaşıldı ki bu beş değişik kuram farklı değil aynı gezegendeki adalar gibiler. Demek ki arkada öyle bir kuram var ki bilinen tüm sicim kuramları bunun sadece değişik görünümleri. Buna M-Kuramı diyoruz. Burada M, tüm kuramların anası ya da gizem* anlamına geliyor, çünkü daha M-kuramı dediğimiz gezegen tamamıyla araştırılmadı.

---

9 Michael Duff, *Physics World*, Dec. 2005.
10 www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/qg_ss.html
* İngilizceleri sırasıyla, Mother ve Mystery –çn.

Burada açıkça "her şeyin temelinde yatan bir kuramın varlığı" iddia ediliyor; son satırda bu kuramın henüz "tam olarak araştırılmamış olması" itiraf edilmesine rağmen. Toplumun ortalama bir bireyi bu paragraftan M-kuramı olarak adlandırılan ve kelimenin tüm tanımlarına haiz bir kuram olduğunu ve kesin olarak tanımlı kavramlar aracılığıyla kesin olarak verili denklemler içerdiğini düşünecektir.[11]

Konuyu gözden geçiren birçok özet makalesi ve konuşması sonuçlar hakkında bu şekilde bulanık ve belirsiz önermeler içeriyor. Aslında sicim kuramının neyi başarmış olduğu hakkında oldukça büyük bir kafa karışıklığı var; bu kafa karışıklığına bir de sonuçların önemini abartmak ve gerçek sorunsalları da indirgeme eğilimi ekleniyor. Konunun uzmanlarına sorduğumda şaşırtıcı bir şekilde fark ettim ki birçok sicim kuramcısı, tedirgemesel sonluluk, S-ikiliği, Maldacena savı ya da M-kuramı gibi varsayımların halihazırdaki durumu hakkında doğru ve detaylı cevap veremiyor.

Bunun güçlü bir suçlama olduğunun farkındayım o yüzden bir örnek vermek istiyorum. Sicim kuramının en basit iddialarından biri sonlu bir kuram olduğudur. Bu şu demek: Kuram fiziksel olarak anlamlı her soruya sonlu sayılar içeren cevaplar verir. Açıktır ki her anlamlı kuram, olayların gerçekleşme olasılıkları, bir parçacığın kütlesi ya da bir kuvvetin şiddeti hakkında sonlu cevaplar vermelidir. Ama temel kuvvetlerin kabul görmüş kuantum kuramları çoğu zaman dolaysız bir şekilde sonlu cevaplar vermezler. Gerçekten de görelilik kuramının gereksinmeleriyle uyumlu devasa sayıdaki kuantum kuramından ancak pek azı bu tür sorulara sonlu sayılarla cevap verebilirler. Bu özellikle kuantum kütleçekim kuramları için böyledir. İlk başlarda gelecek vadeden birçok kuram sonsuz sonuçlar içerdiği için terkedilmiştir. Sonlu cevaplar verebilecek bu az

---

[11] Yine de sicim kuramı hakkında saptırılmış ya da abartılmış iddialarda bulunmayan giriş seviyesi notlarının internette kolayca bulunabildiğini söylemekten mutluyum. İşte bazı örnekler: http://tena4.vub.ac.be/beyondstringtheory/index.html; http://www.sukidog.com/jpierre/strings/ ; http://en.wikipedia.org/wiki/M-theory.

sayıdaki örnek sicim kuramını ve ilmek kuantum kütleçekimi içerir.

12. Bölümde bahsetmiş olduğumuz gibi sicim kuramının sonlu olmaklığı, sicim tedirgeme kuramı denilen bir yaklaşıklık metoduna yaslanır. Bu metot belirli bir ardalanda hareket eden ve etkileşen sicimler hakkında sorulan sorulara sonsuz bir seri halinde gerçekleşen bir yaklaşıklıkla cevap verir. Bu hesapları yaparken, ilk, ikinci ya da on yedinci belki de yüz milyonuncu yaklaşımdan bahsederiz ve bu sonsuza kadar böyle devam eder. Bir kuramın böyle bir çerçevede sonlu olduğunu ispatlamak için ilk önce bahsi geçen tüm terimlerin sonlu olduğunu göstermek gerekir. Bu oldukça zordur ama imkânsız değildir. Örneğin kuantum elektrodinamiği için 1940'lı ve 1950'li yıllarda bu tür bir ispat yapılmıştır. Bu Richard Feynman, Freeman Dyson ve neslinin bir zaferidir. Parçacık fiziğinin standart modeli 1971 yılında Gerard 't Hooft tarafından ispatlanmıştır.

1984-1985 yıllarındaki büyük heyecan kasırgasının sebebi bahsi geçen beş süpersicim kuramının ilk yaklaşıklıkta sonlu olduğunun gösterilmesinden kaynaklanmıştır. Birkaç yıl sonra tanınan bir kuramcı olan Stanley Mandelstam bir makalesinde ispatı tüm seviyelere taşıdığını iddia etmiştir.[12]

En başlarda bu makaleye gelen tepkiler çeşitli oldu. Aslında, birçok sicim kuramcısının kabul ettiği, basit ve sezgisel bir usavurumla sicim kuramın eğer varsa sonlu sonuçlara yol açacağına dair güçlü bir önermede bulunmak mümkün. Ama konuda gerekli teknikler üzerine uzman birçok matematikçi bu usavurumun bir ispat olduğunu reddediyorlar.

Bu sonluluk konusu üzerine epeydir ses çıkmıyor. Alan diğer sorunlara eğildikçe kayboldu gitti. Arada sırada internette bu konuda makaleler yayımlanıyor ama pek dikkat etmedim. Aslında, yakın zamana kadar kuramın sonlu olduğundan şüphe duymamıştım. Son yirmi yılda yapılan tüm ilerlemeler, kendi çalışmalarım dahil olmak üzere, kuramın sonlu olduğu

[12] S. Mandelstam, "The N-loop String Amplitude—Explicit Formulas, Finiteness and Absence of Ambiguities," Phys. Lett. B277 (1-2):82-88 (1992).

kabulüne dayanıyor. Bu süre zarfına şahit olduğum birçok seminerde konuşmacının asıl yaptıklarına gelmeden önce sicim kuramının sonlu bir kuantum kütleçekim kuramı olduğunu belirterek açılış yaptığını gördüm. Konuda yazılan birçok kitap ve uzman olmayanlar için verilen konuşmalarda sicim kuramının anlamlı bir kuantum kütleçekim kuramı olduğu açık ya da içkin bir şekilde kabul ediliyordu. Kendi çalışmalarıma gelirsek, kuramın sonluluğunun ispat edildiğine –ya da neredeyse ispat edildiğine ve kalan işin sadece teknik detaylar içerdiğine– inanıyordum ve kendimi konu üzerinde çalışmaya bu sebeple ikna etmiştim.

2002 yılında kuantum kütleçekimin kurucularından John Wheeler'ın anısına düzenlenen bir konferansta konunun bütününü gözden geçiren bir makale yazıp sunmam teklif edilmişti. Her yaklaşımın bulduğu ana sonuçları listelemenin en iyi yaklaşım olacağını düşünmüştüm. Bunların kuantum kütleçekim sorununa ulaşmada ne kadar yol aldıklarının tarafsız bir karşılaştırmasını yapmayı umuyordum. Makalenin bir müsveddesini bitirdim ve doğal olarak listemde sicim kuramının sonluluğu da yer alıyordu.

Makaleyi bitirmek için sonuçların ifade edildiği makalelere gerekli atıfları yapmam gerekiyordu. Birçok sonuç için bu kolay oldu ama sicim kuramının sonlu olması hakkında hangi makaleye işaret etmem gerektiğini araştırdığımda sorunlarla karşılaştım. Değişik kaynakları incelediğimde sadece Mandelstam'ın makalesine yapılan atıflara karşılaşıyordum, ki matematikçilerin gözünde bu tamamlanmış olarak algılanamazdı. Değişik diğer makaleler de buldum ama hiçbirinde nihai bir sonuç yoktu. Tanıdığım genç, yaşlı bir düzine kadar sicim kuramcısına sordum. Hepsi de bana sonucun doğru olduğunu söyledi. Hiçbiri ispatın yer aldığı makaleyi bilmiyordu ve bana sadece Mandelstam'ın makalesinden bahsediyorlardı. Canım sıkılmış olarak konuyu gözden geçiren özet makalelerini araştırmaya başladım. İncelediğim on beş kadar özet makalesinde ya kuramın sonlu olduğu açık olarak belirtiliyor ya da içkin olarak

kabul ediliyordu.[13] Atıf olarak da yine sadece Mandelstam'ın makalesini bulabiliyordum. Rus bir fizikçinin bir makalesinde konunun ispatlanmış olmadığı açıkça belirtiliyordu.[14] Ama tanınan ve beğendiğim birçok fizikçinin yanlış, onunsa doğru olduğuna inanmak zordu.

Sonunda, Perimeter Enstitüsünden arkadaşım Robert Myers'a başvurdum. Bana, bütün bilindik içtenliğiyle sonluluk sorununun tamamen ispatlanıp ispatlanmadığını bilmediğini ama Eric D'Hoker adlı birine danışmam gerektiğini söyledi.

---

[13] Bazı örnekler: J. Barbon, hep-th/0404188, *Eur. Phys. J.*,C33:S67–S74 (2004); S. Foerste, hep-th/0110055, *Fortsch.Phys.* 50:221–403 (2002); S.B. Giddings, hep-th/0501080; ve I. Antoniadis and G. Ovarlez, hep-th/9906108. Sonluluk sorununu doğru –o zaman için– ve dikkatli bir şekilde işleyen ender bir örnek olarak da şu örneği gösterebilirim: L. Alvarez-Gaume and M. A. Vazquez-Mozo, hep-th/9212006.

[14] Bu Andrei Marshakov'un bir makalesi: hep-th/0212114, Phys. Usp., 45:915-54 (2002). Teknik dil için özür dilerim ama okuyucu belki de esas noktayı görecektir.
Maalesef sicim kuramları arasında en başarılı iddiasında olan on boyutlu süpersicim kuramı genel olarak sadece ağaç ve tek ilmek mertebelerinde tam olarak tanımlıdır. Saçılım genlikleri iki ilmek içeren düzeltmelerden itibaren gerçekte tanımlı değildir. Bunun sebebi süpergeometri ya da karmaşık yapıların modüllerinin süper eşler üzerinden yapılan integralleri üzerine iyice bilinen sorunlardan kaynaklanır. Bozonik durumda integrasyon ölçütünün Belavin-Knizhnik teoremiyle sağlanıyor olmasına karşıt olarak, süpermodüller (ya da daha kesin ifade edersek süperkarmaşık yapıların tek modülleri) üzerinden yapılacak integrallerin ölçütü hâlâ bulunmuş değildir [88,22]. Riemann yüzeylerinin kompleks yapılarının modül uzayları tıkız değildir ve böyle uzaylar üzerinden integral alırken özellikle dikkatli olmak gerekir. Bozonik durumda modül uzayları üzerinden yapılan integral ıraksadığında 3.14 denklemindeki integral ancak bazı "sınır terimlerinin" farklı değerleri (yoz Riemann yüzeylerinin ya da daha az kulplu yüzeylerin katkıları) üzerinden tanımlanmıştır. Süpersicime bakarsak daha ciddi sorunlarla karşılaşırız çünkü "modül uzayının sınırı" diye bir kavram tanımlı değildir. Gerçekten de Grassmann değişkenleri sınır teriminin ne olduğunu "bilmezler." Bu yüzden fermiyonik sicim kuramının integrasyon ölçütü iyi tanımlı değildir ve bir "ayar seçimine" ya da 3.23 denklemindeki eylemin "sıfır modlarının" seçimine bağlıdır. İki ilmek hesapları için bu sorun "ampirik" olarak çözülebilir ([88,22] atıflarına bakınız), ama genelde süpersicim tedirgenme kuramı iyi tanımlı değildir. Dahası bunlar formalizm sorunları değildir: Green ve Schwarz'ın daha az geometrik yaklaşımda bile aynı engellere rastlarız [91].

Araştırınca sonunda D'Hoker ve Phong'un henüz 2001 yılında sonluluğu ikinci derece yaklaşıklıkta ispatladığını öğrendim (12. Bölüm). 1984'ten beri geçen on yedi yıl boyunca bundan konuda bundan başka ilerleme yoktu. (12. Bölümde bahsetmiş olduğum gibi D'Hoker ve Phong'un makalesinden beri geçen dört yıl boyunca bazı ilerlemeler, özellikle Bathan Berkovits'in makalesinde, vardı. Ama onun ispatı ispatlanmamış fazladan kabullere dayanıyordu ve hâlâ sonluluğun tam bir ispatı olarak kabul edilemez durumdaydı.) Kısacası sonsuz bir seride yer alan sadece ilk üç terimin sonlu olduğu biliniyordu. Bunun ötesinde kuramın sonlu olup olmadığı sorusunun cevabı basit bir şekilde bilinmiyor.

Bu duruma makalemde parmak bastığımda kimse inanmadı. Kuramın sonlu olduğunu, Mandelstam'ın bunu çoktan ispatladığını, yanlışa düştüğümü anlatan, hepsinin de nazik bir dili olduğu söylenemeyecek, birçok e-posta aldım. Sicim kuramcılarıyla bu konuda konuşurken de benzer tepkilerle karşılaştım; bazıları sonluluk ispatının tamamlanmamış olduğunu hayretle karşıladılar. Ama onların hayreti konu hakkında konuştuğum ve sicim kuramcısı olmayan ve sadece onlara öyle söylenmiş olduğu için kuramın sonlu olduğuna inanmış olan diğer matematikçiler ve fizikçilerin tepkisi yanında hafif kalıyordu. Hepimiz için kuramın sonlu olması önemi hakkında çok merkeziydi. Hiçbirimiz bunun henüz sonuca ermemiş bir varsayım olduğundan bahseden biri sicim kuramcısı hatırlamıyorduk.

Sicim kuramının bazı varsayımları hakkında bazı ipuçları sunan bulgular hakkında konuşurken de biraz garip hissettiğimi hatırlıyorum. Mutlaka, demiştim kendi kendime, ipuçlarını irdelemek alanın önde gidenlerinin düzenli olarak yaptığı bir şeydi. Kuantum kütleçekim ve kozmoloji camialarında, bu tür eleştirel bir özet makalesi genel geçer bir şeydir ve ben diğer alanlarda da böyle olduğunu kabul etmiştim. Bunu sicim kuramı önderlerinden hiçbirinin yapmamış olması sorumluluğu benim gibi camianın içinde olduğu pek de söylenemeyecek ve sosyolojik bir bağlılık içermeyen birine düşmüştü. O sıralar sicim kuramı üzerinde çalışıyor olduğumdan ve ilgimden ötürü

kabul etmiştim bu görevi. Yine de bazı sicim kuramcıları makalemi düşmanca bir tavır olarak algıladı.

Marsilya Kuramsal Fizik Merkezinde çalışan Carlo Rovelli kuantum kütleçekim üzerine çalışan yakın bir arkadaşımdır. Sicim kuramının sonluluğu konusunu içeren ve kuantum kütleçekim kuramı hakkında çalışan değişik yönelimlerin dramatize edilmiş bir diyaloğunu yazdığında o da benzer tepkilerle karşılaşmıştı. Mandelstam'ın sonluluğu ispatladığı hakkında o kadar çok e-posta almıştı ki Maldestam'a yazıp kendisi sormaya karar verdi. Mandelstam emekli olmuştu ama çabucak cevap verdi. Mandelstam, kuramda sadece bazı tip sonsuzlukların olmadığını gösterdiğini ama bazı diğer tip sonsuzlukların hâlâ bir olasılık olduğunu söyledi.[15]

Şu ana kadarki hesaplarda bahsettiği türden terimler bulunmamıştı ama bu bulunamayacakları anlamına gelmiyordu.

Tanıdığım sicim kuramcılarından hiçbiri kuramın sonlu olduğunun ispat edilmemiş olduğunu öğrendiklerinde konudan ayrılmadı. Öte yanda, sonluluğu yıllar önce ispatlamış olduklarını ama bazı teknik detayların tamamlanmamış olması yüzünden makalelerini yayımlamadıklarını söyleyen tanınmış sicim kuramcılarıyla da karşılaştım.

---

[15] Aşağıda Mandelstam'ın 8 Haziran 2006 tarihli e-postası:
N-ilmekli sicim genliğinin sonluluğu hakkında ilk önce şunu söylemek isterim; sonsuzluklar ancak modül uzayı yozlaştığında gerçekleşebilir. Dilaton ıraksamasıyla ilgili yozluk noktalarını inceledim ki sicim kuramcıları bunlar hakkında kaygı duyuyorlardı. Gösterdim ki tek ilmek genlikleri için kullanılan savlar n ilmekli genliklere de genelleştirilebilir. Aynı şekilde gösterdim ki süpermodüller üzerinden yapılacak integrasyon konturunun tanımı üniterlikle uyumlu biricik bir şekilde yapılabilir. Bunun sonluluğun tam bir matematiksel ispatı olmadığını biliyorum ama en azında sonsuzluklara yol açabilecek fiziksel sorunlarla başa çıkıyor. İkili modellerin en başından beri bilinen diğer bir sonsuzluk kaynağını yani sanal zaman kullanımı üzerine olanı incelemedim. Eğer E ilk ve şimdiki enerji seviyeleri arasındaki fark olarak alınırsa exp(iEt) faktörü sanal bir zaman integralinde kolayca sonsuzluk verebilir. Fiziksel bir sav olarak gerçel zamana analitik devam ettirme üzerinden bunların yok edilebileceğini düşünebiliriz. Sıfır ve tek ilmek genlikleri için bu başarılmıştır aynı şekilde iki ilmek genlik hesabında da bir analitik devam ettirmenin mümkünlüğü gösterilmiştir.

Ama eğer bu sonluluk sorunu bir gün nihayete erirse bu araştırma programındaki bu kadar insanın alanlarında bu kadar merkezi önemdeki bir konudan neden habersiz olduklarını sorgulamamız gerekecek. 1984 ve 2001 yılları arasında birçok sicim kuramcısının sanki kuram sonluymuş gibi konuşup yazdıkları önem arz etmeyecek mi? Neden sicim kuramcıları, konunun içindekiler ve dışındakilerle iletişirken, kuramın sonlu olduğun ima eden bir dil kullanmayı bu kadar rahatlatıcı buldular?

Sicim kuramında ispatlanmamış ama genel olarak inanılan tek sav sonluluk değil. Daha önce değinmiş olduğumuz gibi Maldacena savının çok değişik sonuçlar ima eden değişik halleri var. Kesin olan bu savların en güçlüsünün ispat edilmekten henüz pek uzak olması; öte yandan daha zayıf haller gerçekten de sağlam desteklere sahip. Ama sicim kuramcıları duruma böyle yaklaşmıyorlar. Yakınlarda yayımlanmış bir makalede, Gray Horowitz ve Joseph Polchinski, Maldacena savını matematikte çok iyi bilinen ama henüz çözülmemiş bir sav olan Riemann savına benzetiyorlar.

Özet olarak, Maldacena'nın ikilik savını *doğru ama ispatlanmamış* kategorisinde görmek için elimizde ikna edici sebepler var. Gerçekten de bu savı tıpkı Riemann savı gibi algılıyoruz. İkisi de ilk bakışta ilgisiz gözüken yapılar hakkında bağlantılardan bahsediyor... ve ikisi de yoğun dikkate ve çabaya rağmen ya ispata ya da karşı ispata direndiler.[16]

Bir bulguya "doğru ama ispatlanmamış" diyebilen bir matematikçi duymadım. Ama buna rağmen, asıl şaşırtıcı olan, yazarların –ki iki son derece zeki insan– tartıştıkları bu iki kavramın aşikâr farklılıklarını göz ardı etmeleridir. Riemann savıyla birbirlerine bağlı yapıların varlığını biliyoruz; bunlar hakkındaki soru aralarında bir ilişkinin varlığıdır. Ama ne sicim kuramının ne de süpersimetrik ayar kuramlarının matematiksel yapılar olarak gerçekten var olup olmadıklarını bilmiyoruz, bunların

---

[16] G.T. Horowitz and J. Polchinski, "Gauge/gravity duality," gr-qc/0602037, *Towards Quantum Gravity*, ed. Daniele Oriti Cambridge Üniversitesi Yayınları.

varlıkları dahi elimizdeki sorunun parçası. Bu alıntının apaçık ortaya koyduğu şey yazarların, sicim kuramının iyi tanımlı matematiksel bir yapı olduğunu kabul ettikleridir; bu doğru olsa da ne tür bir yapı olduğunu bilmediğimiz genel kabul görüyor olsa bile. Bu ispatlanmamış kabulü yapmazsak kanıtların Maldacena savının güçlü hali hakkında ne söylediği hakkında yukardaki yazarlardan farklı sonuçlara varırız.

Bu kanıtlanmamış savları savunmaya geldiği zaman sicim kuramcıları bunların camiada "genel kabul" gördüğünden bahseder ya da "aklı başında kimsenin bunların doğruluğundan şüphe duymadığını." Camiadaki fikir birliğine gönderme yapmanın akılcı bir düşünme tarzı olduğuna inanıyor gibiler. Aşağıda tanınmış bir sicim kuramcısının blogundan bir alıntı:

> *Geçen altı yılı uyuklayarak geçirmemiş herkesin* bildiği gibi anti de-Sitter uzayında kuantum kütleçekim kuramı birimsel bir zaman devinimine haizdir... Ads/CFT hakkında elde edilmiş oldukça fazla sayıdaki kanıtlara bakarak, yukardaki önermenin –hem de sadece Hawking'in çalıştığı yarı klasik limitte değil ama tam olarak– *karşısında duran inatçıların sayısının fazla olduğundan şüphe duyarım.*[17] (İtalikler bana ait.)

Bu inatçılardan olduğumu kabul etmek kendimi iyi hissettirmiyor ama kanıtların ayrıntılı bir irdelemesi beni buna ikna etti.

Anahtar savların doğruluğu hakkındaki bu şövalyece tutum birçok sebepten ötürü üretkenliğe sekte vuruyor. İlk olarak, daha önce bahsettiğimiz davranış biçimlerini de hatırlarsak, bu konularda kimsenin çalışmamasına yol açıyor; bu da çözülmelerinin önünde önemli bir engel oluşturuyor. Bilimsel ahlak ve metotta da bozulmalara yol açıyor çünkü zeki insanlardan oluşan geniş bir topluluk bu temel savların kanıtını talep etmeden doğruluklarına inanıyor.

Öte yandan, büyük buluşlar yapıldığında, genel olarak abartılıyor. Birçok sicim dışı kuramcı bana sicim kuramı kara delik entropisini ispatladığına göre neden başka yaklaşımlarla uğ-

[17] http://golem.ph.utexas.edu/~distler/blog/archives/000404.html.

raştığımı soruyorlar. Aslında Strominger ve Vafa'nın azami kara delikler üzerine yaptıkları çalışmayı (Bölüm 9) çok beğenmeme rağmen, tekrar etmeliyim ki, oldukça iyi sebepler yüzünden bu kesin sonuçlar genel kara deliklere genelleştirilmedi.

Aynı şekilde, pozitif kozmolojik sabite haiz son derece fazla (hep bahsi geçen şu kuram manzarası) sicim kuramı olduğu savı da kesin olmaktan uzak. Bu duruma rağmen önder sicim kuramcıları bu zayıf sonuçlar üzerinden sicim kuramının başarısı ve geleceği hakkında büyük laflar ediyorlar.

Bu tutarlı abartma halinin sicim kuramına rakip kuramlar nezdinde bir avantaj sağlamış olduğundan bahsedilebilir. Bir bölüm başkanı olarak birini işe almakla görevli olsaydınız bütün büyük sorunları çözdüğü söylenen bir alanda çalışanı mı yoksa elinde bu büyük sorunlar hakkında sadece –henüz ifade edilememiş– bir kuramının var olabileceğine dair emareler olduğunu söyleyeni mi tercih ederdiniz?

Özetleyeyim ki nereye vardığımızı daha açık görelim. Bu tartışma bize gösterdi ki sicim kuramı camianın kendine has ve alışılmadık yedi özelliği var.

1. *Aşırı bir özgüven*: Bu bir tür salahiyet duygusu ve uzmanlardan oluşan bir seçkinler sınıfına ait olma hissine varıyor.
2. *Alışılmadık seviyede tek tip bir camia*: Kanıtlarla desteklensin desteklenmesin, açık sorulara alışılmadık seviyede türdeş yaklaşımlara ve güçlü bir fikir birliği hissine varıyor. Bunlar araştırma programına önderlik eden az sayıdaki insanın fikirlerinin ve stratejilerinin genel yönelimi dikte ettirdiği güçlü bir hiyerarşinin varlığından kaynaklanıyor gibi gözüküyor.
3. Bazı durumlarda, sanki dini inançlarda ya da politik düzlemlerde olduğu gibi, *grupla özdeşleşme hissi* var.
4. *Camia ile diğer uzmanlar arasında keskin bir sınır olduğuna dair* güçlü bir his.
5. Sadece camiadakilerle konuşma tercihi ve camiaya dahil olmayan uzmanların fikirleri, kanaatleri ve çalışmaları hakkında *bir saygısızlık ve ilgisizlik durumu.*

6. *Kanıtları fazlaca iyimser eğilimi*, kuramın yanlış olu bileceğine dair inançsızlık, sonuçların abartılı ve yanlış önermelerine inanmak. Bu aynı zamanda, *"genelde kabul gördüğü" için sonuçlara inanmak* eğilimiyle el ele gidiyor. Bir ispatın sağlaması yapılmamış hatta bu tür bir ispat görülmemiş olsa bile.
7. Bir araştırma programının ne ölçülerde riskler alması gerektiği hakkında değerlendirme yapamamak.

Şüphesiz ki, her sicim kuramcısı bu şekilde tanımlanamaz, ama sicim kuramı topluluğunun içinden ya da dışından olsun pek az gözlemci yukardaki özelliklerin hepsinin ya da bazılarının bahsi geçen camianın özellikleri olduğuna itiraz edecektir.

Tek tek bireylerin davranışlarını eleştirmediğimi açıkça beyan etmek isterim. Birçok sicim kuramcısı açık fikirli ve özeleştireldir ve sorulduğunda, camianın bu özelliklerine teessüf ettiklerini söyler.

Sicim kuramı konusunda çalışma arkadaşlarım kadar bende de hatalar olduğunu da açıkça belirtmek isterim. Yıllar boyunca, sonluluk gibi temel savların doğru olduğuna inandım. Bu sicim kuramına yıllarımı yatırmış olmamın temel sebebiydi. Sadece benim işlerim etkilenmedi, kuantum kütleçekim üzerine çalışanlar arasında sicim kuramını ciddiye almamız gerektiğini en güçlü şekilde savunan bendim. Yine de gerekli kaynaklara bakmadım ve ben de, sicim camiasının önderlerinin kendi eleştirel düşünmemi benim yerime yapmalarına göz yumdum. Ve sicim kuramı üzerine çalıştığım yıllar boyunca bu önderlerin benim çalışmalarım hakkında ne düşüneceklerine çok önem verdim. Tıpkı bir ergen gibi, kendi ufak çevremde en etkili olanlar tarafından kabul edilmek istedim. Eğer onların tavsiyelerine uyup hayatımı sicim kuramına adamamışsam bunun sebebi bu tür durumlarda olaya hâkim olan biraz inatçı bir mizacım olmasındandır. Benim için olay bir "bize" karşı "onlar" durumu ya da üstünlük için kapışan iki camianın öyküsü değildir. Bunlar bilimci olduğum süre boyunca iç savaşımını verdiğim oldukça kişisel sorunlardır.

Bu yüzden iyi bilimciler olmak ve alanlarındaki güçlü insanların onayını isteyen sicim kuramcılarının halinden anlıyorum.

Bulunduğunuz camiaya kabul için kendi kendimize ispatlayamayacağımız karmaşık fikirlere inanmanın gerekli olduğu bir durumda açık ve bağımsız düşünebilmenin zorluğunu da anlıyorum. Bu içinden çıkmamın yıllarımı aldığı bir tür tuzak.

Biz kuramsal fizikçilerin zorda olduğumuzu düşünüyorum ve bütün bu bahsettiklerim bu kanaati destekliyor. Birçok sicim kuramcısına neden sicim kuramı konferanslarına diğer fikirler üzerine çalışanların çağrılmadığını sorun, size bunların tabii ki çağrılması gerektiğini, bu tür işlerden hiç hoşnut olmadıklarını söyleyeceklerdir, ama bu konuda hiçbir şey yapılamayacağını da ekleyeceklerdir. Onlara sicim kuramı gruplarının neden diğer fikirler üzerine çalışan doktora sonrası araştırmacıları işe almadıklarını ya da ziyaretçi olarak davet edilmediklerini sorun, aslında onlarında işe alınmaları gerektiğini ve bunlardan üzüntü duyduklarını söyleyeceklerdir. Öyle bir durumdayız ki, büyük bir sorun olduğu hakkında herkes hemfikir ama kimse kendini bundan sorumlu hissetmiyor.

Sicim kuramcısı arkadaşlarıma inanıyorum. Birey olarak alındıklarında, *toplu halde* olduklarına nazaran çok daha açık fikirli ve özeleştirel olduklarını düşünüyorum.

Bir grup nasıl olur da tek tek bireylerinin iyi niyetine bu kadar karşıt şekillerde davranabilir?

Aslında sosyologlar bu tür bir olguyu hemen tespit edebiliyorlar. Tercih ya da şartlar yüzünden sadece birbirleriyle iletişim içinde olan ve hayli saygı gören uzmanların olduğu camialarda buna rastlanıyor. Bu olguya, istihbarat servisleri, hükümet seviyesinde politikalar oluşturan merkezler ve büyük şirketlerde rastlanıyor. Sonuçları bazen trajik olduğu için *grup düşünmesi* denen bu olgu üzerinde çalışmalar var.

Yale Üniversitesinde psikolog olan Irving Janis terimi 1970'li yıllarda ilk defa kullanmış. Grup düşünmesini şöyle tanımlıyor: "Birbirlerine sıkıca bağlı ve üyelerinin psikolojik olarak kendilerini ait hissettikleri bir grupta fikir birliği adına bireylerin alternatif yolları düşünme konusunda kendilerini kısıtlamaları."[18]

---

18 Irving Janis, Victims of Groupthink: A Psychological Study of Foreign-Policy Decisions and Fiascoes (Boston: Houghton Mifflin, 1972), s.

Bu tanıma göre grup düşünmesi ancak bağlılık yüksek olduğun da gerçekleşiyor. Üyelerinde bir "biz" ve birliktelik duygusu ve bunun her şartta devamını sağlama dürtüsü olması gerekiyor. Beraber çalışanlar grup düşüncesi halindeyken kendiliklerinden "grubun uyumunu koruma" şiarını aldıkları her karara uyguluyorlar.[19]

Janis, Domuzlar Körfezi olayında olduğu gibi, uzmanlardan oluşan grupların karar almada yaşadıkları başarısızlıkları çalışıyordu. Bu terim sonradan birçok olay hakkında kullanıldı. Örnekler sıralarsak; NASA'nın *Challenger* faciasını önlemedeki başarısızlığı, Batı'nın Sovyetler'in çöküşünü öngörememiş olması, Amerikan otomobil şirketlerinin daha küçük arabaların oluşturacağı pazarı fark etmemesi ve daha yakın –ve belki de en feci– bir örnek olarak Irak'ın kitle imha silahları olduğuna dair yanlış inanç üzerinden Bush yönetiminin savaşa koşturması.

Aşağıda Oregon Eyalet Üniversitesinin iletişim üzerine olan ağ sitesinden grup düşünmesi üzerine bazı alıntılar sunuyorum:

> Grup düşüncesi mensupları kendilerini ait hissettikleri bir grubun kendilerini emellerini sekteye uğratacağı düşünülen başka bir gruba karşı çalıştıklarını düşünürler. Bir grubun grup düşüncesinden mustarip olduğunu aşağıdaki emarelerden anlayabiliriz:
>
> 1. Yenilmezliğini ve ahlaki üstünlüğünü abartma,
> 2. Alınan kararları kolektif olarak akılcılaştırma,
> 3. Karşıt olduğu düşünülen grupları ve önderlerini kötüleme ve tek tipleştirme,
> 4. Bir türdeşlik kültürüne sahip olma, grubun fikir birliğini korumak adına üyelerinin oto-sansür uygulaması, diğerlerini susturması ve grubun görünür yüzünün birliktelik göstermesi,

---

9. Tabii ki bu olgu çok daha eski. Sözü geçen ekonomist John Kenneth Galbraith buna "geleneksel bilgelik" diyor. Şunu demeye getiriyor: "Sağlam bir zemine oturmasalar da zenginler ile sözü geçenler arasında çok geniş bir şekilde yer tutan ve bu yüzden de ancak aptalların ve acelecilerin kariyerlerini kaybetmek pahasına karşı çıkacağı fikirler." Bir kitap tanıtım yazısından; *Financial Times*, 12 Ağustos 2004.)

19 Irving Janis, *Crucial Decisions: Leadership in Policymaking and Crisis Management* (New York: Free Press, 1989), s. 60.

5. Üyeler içinde grup önderini korumak güdüsüyle kendilerinin ya da diğerlerinin fikirlerini önderden saklamayı iş edinen bireylerin varlığı.[20]

Bu sicim kuramı camiasını tanımlamak için benim kullandığım betimlemeyle bire bir örtüşmüyor, ama endişe verecek kadar yakın.

Tabii ki, sicim kuramcıları bu eleştiriye kolayca cevap verecektir. Uzmanlardan oluşan ve fikir birliği içindeki grupların oluşumunun bilimin ilerlemesi için temel oluşturduğu birçok tarihsel örnek verebilirler. Grup dışındakilerin fikri göz ardı edilmelidir çünkü onlar kanıt ve ispat yargılarını verebilecek teknik melekelere sahip değillerdir. Bundan bir bütün olarak bilimsel topluluğun bu tür bir fikir birliğini oluşturup onu zorlayabilecek mekanizmalara sahip olması gerektiği çıkacaktır. Dışardan bakıldığında grup düşünmesi olarak gözüken şey aslında sıkı kurallara bağlı akılcılıktır.

Araştırma camiasının fikir birliğinin bireylerin eleştirel düşüncesinin yerini almasına yapılan eleştiriye de cevap verebilirler. Yakınlarda tanınmış bir bilim sosyoloğuyla konuşurken bana temel savların ispatsız kabul edilmesinin o kadar da az rastlanan bir olgu olmadığını söyledi.[21] Tek başına çalışan hiçbir bilimci konularına olan inançlarında merkezi olan deneysel sonuçların, hesapların ve ispatların bir kısmından fazlasını doğrulayamaz; pek azının bu kadar becerisi vardır ve günümüzdeki şartlarda kimsenin buna zamanı yoktur. Demek ki, bilimsel bir camiaya adım attığımızda, iş arkadaşlarımızın uzmanlık alanları hakkında söylediklerinin doğru olduğuna güvenmek zorundayız. Bu da bazı savların sanki gerçeklermiş gibi kabul edilmesine yol açabilir, ama yine de bu araştırma programının nihai başarısından bağımsızdır. Günümüzde bilimsel aktivite

---

20 http://oregonstate.edu/instruct/theory/grpthink.html.

21 Başka bir örnek olarak John Von Neumann'ın 1932 yılında yayımladığı bir ispatı verebiliriz: Von Neumann gizli değişkenlere haiz bir kuantum kuramının olmadığının bir ispatını önermişti. David Bhom bir gizli değişken kuramı bulana kadar Von Neumann'ın makalesi otuz yıl boyunca çokça atıf aldı.

birbirlerine inanmayanlardan oluşan bir grupla ilerleyemez. Böylelikle şunu söyleyebiliriz; bu tür durumlar can sıkıcı ve gördüğümüz anda düzeltmek gerekir ama bu göstergeler tek başına bir araştırma programının hastalıklı bir sosyolojisi olduğu ya da hezimetle sonuçlanacağı anlamına gelmez.

Son olarak da, kıdemli sicim kuramcıları konumlarını liyakatle elde ettiklerini ve böylelikle istedikleri gibi araştırma yönetmeye hak kazandıklarını söyleyebilirler. Ne de olsa bilimsel pratik önsezilere dayanır ve bu da onların sezgisi. İnanmadıkları bir şey üzerinde çalışmaya zorlanabilirler mi? Ve doğru çıkma şansı en çok olduğuna inandıkları konunun dışında çalışan birini işe almak zorundalar mı?

Bu tür bir savunmaya nasıl karşılık verilebilir? Eğer bilim uzmanlardan oluşan ve fikir birliğindeki gruplar üzerinden yürüyorsa, o zaman sicim kuramı durumunda karşımıza çıkan üzerine çalıştıkları kuramın nihai doğruluğu hakkında hatırı sayılır bir fikir birliğine sahip bir uzmanlar grubudur. Zekice ve faydalı bir eleştiri yöneltmenin yolu, üzerine dayanabileceğimiz akılcı bir zemin yok mu? "Grup düşünmesi" gibi terimler savurmaktan çok daha iyisini yapmalıyız. Bilimin ne olduğu ve nasıl işlediği hakkında bir kuramımız olmalı; öyle ki bir kuram üzerinde çalışan bir grubun deneysel sınamalardan başarıyla geçmeden önce baskın olmasının neden kötü olacağını açıkça gösterebilelim. Şimdi buna yoğunlaşacağız.

17. BİLİM NEDİR?

Fizikteki bu can sıkıcı gidişatı tersine çevirebilmek için, önce bilimin ne olduğunu, onu nelerin ilerlettiğini ve nelerin gerilemeye yol açtığını anlamalıyız. Bunun için bilimi, bilimcilerin yaptıklarının tümü olarak değil, bundan daha fazla bir şey olarak tanımlamalıyız. Bu bölümde böyle bir tanıma ulaşmaya çalışacağız.

Harvard Üniversitesinde lisansüstü eğitimime 1976 yılında başladığımda, küçük bir üniversiteden gelen saf bir öğrenciydim. Einstein'a, Bohr'a, Heisenberg'e ve Schrödinger'e ve köktenci düşüncelerinin kuvvetiyle fiziği nasıl değiştirdiklerine hayrandım. Bütün geçler gibi ben de onlar gibi olmayı hayal ederdim. Şimdi kendimi parçacık fiziğinin merkezinde bulmuştum; etrafım Sidney Coleman, Sheldon Glashow ve Steven Weinberg gibi önderlerle çevriliydi. Bu insanlar son derece zekilerdi ama benim kahramanlarıma hiç benzemiyorlardı. Derslerde, kuantum mekaniğinin temellerinin oluşturan sorunlardan ya da uzay ve zamanın doğasından bahsettiklerini hiç duymamıştım. Bu tür konulara ilgi duyan öğrencilere de rastlamamıştım.

Bu bende kişisel bir bunalım yarattı. Lisanslarını büyük üniversitelerde yapmış arkadaşlarım kadar hazırlıklı değildim, ama birçok arkadaşımın aksine lisans öğretimim süresinde araştırma yapmıştım ve hızlı öğrenebildiğimi biliyordum. Kısacası işin üstesinden gelebileceğimden emindim. Ama aynı zamanda büyük bir kuramsal fizikçinin nasıl olacağı hakkında da belirli bir fikrim vardı. Harvard'a omuz temasında olduğum büyük kuramsal fizikçiler bu tanıma uymuyordu. Atmosfer felsefi değildi; küstah, burnu havada, kendine güvenli ve bazı durumlarda kendileriyle uyuşmayanlara hakaret edenler tarafından ele geçirilmiş zalim ve saldırgan bir ortamdı.

Bu zaman zarfında genç bir bilim felsefecisi olan Amelia Rechel-Cohn ile arkadaşlık ediyordum. Onun sayesinde, benim gibi, fiziğin derin ve felsefi sorunlarına merak duyan insanlarla tanıştım. Ama bu işleri daha kötüye götürdü. Kuramsal fizikçilerden daha iyi insanlardı, ama sadece kuantum fiziğinin ya da özel göreliliğin temellerindeki belirli mantıksal sorunlar üzerine düşünmekten mutlu gözüküyorlardı. Bu tür maceralar için sabrım yoktu; Ben kuramlar *icat etmek* istiyordum, onları eleştirmek değil. Yine de bu felsefecilerin –standart modelin mucitlerinin felsefi yaklaşım eksikliğinin tersine– ilerleme kaydedeceksem bilmem gereken şeyler bildiklerinden emindim.

Tam bilimden kopmayı ciddi ciddi düşünmeye başladığımda, Amelia bana felsefeci Paul Feyerabend'in bir kitabını verdi. Kitap, *Against Method* [*Metoda Karşı*] adını taşıyordu ve benim çok ilgimi çekmesine rağmen pek de ümit verici şeyler içermiyordu. Saflığıma ve kendimle meşguliyetime sıkı bir darbe indirdi.

Feyrabend'in kitabı bana şunu söyledi: *Bak, çocuğum, hayal görmeyi bırak! Bilim bulutlarda oturan felsefeciler değildir. Diğer her biri kadar sorunlu ve karmaşık bir insan edimidir. Bilim için tek bir yöntem ya da kimin iyi bilimci olduğunu söyleyecek tek bir kriter yoktur. İyi bilim, tarihin herhangi bir anında, bilgi birikimini ilerleten neyse odur. Ve beni ilerlemeyi nasıl tanımlayacağımız konusunda rahatsız etme; istediğin gibi tanımla bunlar yine de doğrudur.*

Feyrabend'den şunu da öğrenmiştim: Bazen ilerleme derin düşünce gerektirir ama çoğu zaman da gerektirmez. İlerleme daha çok kuralları büken fırsatçı ve bildiklerini ve yaptıklarını abartanlar tarafından gerçekleştirilir. Galileo bunlardan biriydi; fikirlerinin birçoğu yanlıştı ve rakipleri –o zamanların iyi eğitimli ve felsefi derinliğe sahip Cizvit papazları– onun düşünce sisteminde rahatlıkla gedikler açabiliyorlardı. Yine de o haklıydı ve diğerleri haksızdı.

Feyerabend'den öğrendiğim şeyler arasında şu da vardı: Her durumda neyin işleyeceğini bize söyleyebilecek *a priori* [önsel] bir fikir yoktu. Bilimde bir durumda işe yarayan, başka bir za-

manda pekâlâ yarasız olabilirdi. Aynı zamanda Galileo'nun öyküsü hakkında şunu da öğrenmiştim: İnandığın şey için savaşmalısın.

Feyerabend'in mesajı beni kendime getirdi, tam da zamanında. Eğer iyi bilim yapmak istiyorsam, şu anda beraber çalıştığım insanların günümüzün iyi bilimcileri olduğunu kabul etmem gerekiyordu. Bütün iyi bilimciler gibi başarı olmuşlardı, çünkü haklılardı ve fikirleri için savaşmışlardı. Eğer fikirleriniz doğruysa ve onlar için savaşırsanız bir şeyler başarırsınız. Kendinize acımakla ya da Einstein ya da Bohr hakkında nostaljik hayallere dalmakla zaman kaybetmeyin. Siz dışında kimse fikirlerinizi ilerletemez ve sizin dışınızda kimse onlar uğruna savaşmaz.

Uzun bir yürüyüş sonucunda bilimde kalmaya karar verdim. Hemen akabinde, parçacık fizikçilerinin yöntemlerini kuantum kütleçekim sorununa uyguladım ve gerçek araştırma yapabileceğimi fark ettim. Bu, temel felsefi sorunları bir an için bir kenara bırakmak anlamına gelse de, yeni yapılar keşfedip bunlarla hesaplar yapabilmek harikaydı.

Feyerabend kariyerimi kurtarmıştı; ben de, teşekkürlerimi sunmak için doktora tezimin bir kopyasını ona gönderdim. Cevap olarak bana, *Science in a Free Society* [*Serbest bir Toplumda Bilim*] (1979) adlı yeni kitabının bir kopyasını yolladı; ve eğer Berkeley'e uğrarsam onu aramamı da söyledi. Birkaç ay sonra, bir parçacık fiziği konferansı için California'ya gitmiştim ve onu bulmaya çalıştım; ama bu çetrefil bir işti. Ofis saatleri yapmıyordu ve hatta üniversitede ofisi bile yoktu. Bölüm sekreteri onu aradığımı söylediğimde gülerek onu evinde aramamı salık verdi. Telefon kataloğundan adresini buldum; Berkeley sırtlarında Miller caddesinde oturuyordu. Cesaretimi topladım, telefonu çevirdim ve nazikçe Profesör Paul Feyeranbend'i sordum. Öte tarafta kim varsa bağırarak "Profesör Paul Feyerabend! O öteki Paul Feyerabend. Onu üniversitede arayın" dedi ve kapattı. Böylece bir dersine gittim ve sonrasında, az da olsa, onunla konuşmaktan memnun oldum. O birkaç dakika içerisinde bana çok faydalı bir tavsiyede bulunmuştu. "Evet, akademik dünya

boku yemiş durumda ve senin bu konuda yapabileceğin hiçbir şey yok. Ama buna kafayı takma. Sadece ne istiyorsan onu yap. Eğer ne istediğini ve ona nasıl sahip çıkacağını biliyorsan kimse seni durdurmak için zahmete girmez."

Altı ay sonra, bana başka bir mektup yazdı. O sırada Santa Barbara'daydım ve Kuramsal Fizik Enstitüsünde doktora sonrası araştırmacı olarak işe yeni başlamıştım. Bana, benim gibi felsefi ilgileri olan, yetenekli bir fizik lisans öğrencisinden bahsediyordu. Nasıl ilerleyebileceği üzerine tavsiyelerde bulunmak üzere onunla görüşebilir miydim? Asıl istediğim Feyerabend'le tekrar görüşebilmekti; bunun üzerine tekrar Berkeley'e gittim. İkisini felsefe binasının merdivenlerinde otururken (sanırım bu iş arkadaşlarıyla kurduğu en yakın ilişki şekliydi) buldum. Feyerabend bize Chez Panisse'de öğle yemeği ısmarladı, sonra bizi evine götürdü (onun evi de Berkeley sırtlarındaki Miller caddesindeydi) ve böylelikle o en sevdiği melodram dizisini izlerken öğrencisiyle ben konuşabildik. Yolda arabanın arka koltuğunu şişirilebilir bir salla paylaşmıştım. Feyerabend bunu Körfez Köprüsü üzerinde 8 şiddetinde bir depremde kullanacağı bir tedbir olarak arabasında tutuyordu.

Feyeranbend'in ilk bahsettiği konu, kuantum alan kuramında sonsuzluklarla başa çıkmanın yolu olan renormalizasyondu. Günümüzün fiziği hakkında bu kadar bilgi sahibi olması beni şaşırtmıştı. Harvard'daki bazı hocalarımın bana söylediği gibi bilim karşıtı değildi. Fiziği sevdiği belliydi ve tanıştığım diğer felsefecilere oranla teknik detayları hakkında konuşabiliyordu. Onun bilime düşmanca olduğuna dair oluşmuş kanı kesinlikle, bilimin neden işlediği sorusunun cevapsız olduğunu ifade etmesi yüzündendi. Bu bilimin bir metodu olmasından mıydı? Büyücülerin de metotları vardı.

Belki de aradaki fark bilimin matematik kullanmasındadır diye önerdim. Astroloji de öyle, diye cevap verdi. Bıraksak, astrologların kullandığı değişik hesap metotlarını da anlatacaktı. Gelmiş geçmiş en ünlü fizikçilerden olan Johannes Kepler'in astrolojinin teknik ilerlemesine birçok katkıda bulunduğunu ve Newton'ın fizikten çok simyaya zaman harcadığını ifa-

de ettiğinde ne söyleyeceğimizi bilememiştik. Kepler'den ya da Newton'dan daha iyi bilimciler olduğumuzu mu düşünüyorduk?

Feyerabend, bilimin, bilgiyi ilerletmek (bunun tanımı ne olursa olsun) için ne gerekiyorsa onu yapan, genel bir metot ve mantık izlemeyen fırsatçılar tarafından gerçekleştirilen bir insan edimi olduğuna ikna olmuştu. Onun büyük sorusu şuydu: Bilim nasıl işliyor ve neden bu kadar iyi işliyor? Benim bütün açıklamalarıma karşıt görüş sunmasına rağmen, bu soruyu izlemesinin sebebinin bilim karşıtı olması değil tam tersine ona çok değer vermesi olduğunu hissetmiştim.

Günün ilerleyen saatlerinde, Feyerabend bize kendi hikâyesini anlattı. Viyana'da henüz gençken gelecek vaat eden bir fizik öğrencisiymiş, ama İkinci Dünya Savaşı için askere alındığında öğrenimi kesintiye uğramış. Rus cephesinde yaralanmış ve sonrasında Berlin'e gitmiş ve savaştan sonra da aktör olarak iş bulmuş. Biraz sonra, tiyatro dünyasından sıkılmış ve fizik öğreniminde devam etmek için Viyana'ya dönmüş. Felsefe kulübüne girmiş ve fark etmiş ki aktörlükte elde ettiği beceriler sayesinde bir felsefi tartışmasının hangi tarafında olursa olsun kazanabiliyormuş. Bunun üzerine de akademik dünyanın akılcı bir zemini olup olmadığını merak etmeye başlamış. Bir gün, öğrenciler Ludwig Wittgenstein'ı kulübü ziyaret etmeye ikna etmişler. Feyerabend o kadar etkilenmiş ki felsefeye geçmeye karar vermiş. Wittgenstein'la konuşmuş ve o da Feyerabend'i Cambridge'e onunla çalışmak için davet etmiş. Ama Feyerabend İngiltere'ye gidene kadar Wittgeinstein ölmüş. Bunun üzerine birisi, o sırada Londra Ekonomi Okulunda ders veren, yine Viyana'dan çıkma, Karl Popper'le görüşmesini önermiş. Böylelikle Londra'ya gitmiş ve felsefe hayatına Popper'in çalışmalarına saldıran makaleler yazarak başlamış.

Birkaç yıl sonra, bir öğretim işi teklifi almış. Bu kadar az bilmesine rağmen nasıl ders vereceğini bir arkadaşına sormuş. Arkadaşı ona bildiğini düşündüğü şeyleri bir kağıda yazmasını söylemiş. Hepsi tek bir sayfaya sığmış. Arkadaşı bunun üzerine ilk dersini sayfadaki ilk cümle üzerine, ikinci dersini ikinci cümle üzerine kurmasını ve böylece devam etmesini salık ver-

miş. Böylece asker olan öğrenci, sonrasında aktör olan asker bir felsefe profesörü olmuş.[1]

Sonrasında, Feyerabend bizi Berkeley kampüsüne arabayla bıraktı. Gitmeden son bir tavsiyede de bulundu. "Sadece yapmak istediklerinizi yapın ve başka hiçbir şeye dikkat etmeyin. Kariyerim boyunca yapmak istemediğim bir iş üzerine beş dakikadan fazla zaman kaybetmedim."

Ben de kabaca böyle yaptım. Şu ana kadar. Artık, sadece bilimsel fikirler üzerine değil bilimsel süreç üzerine de konuşmamız gerektiğini hissediyorum. Başka seçimimiz yok. Hocalarımıza nazaran neden bu kadar az başarılı olduğumuz hakkında düşünmeyi bizden sonraki nesillere borçluyuz.

1994'te yetmiş yaşında ölen Feyerabend'i o son ziyaretimden bu yana benimki gibi bunalımlardan geçen birçok öğrenciye rehberlik ettim. Ama gençken kendi kendime söylediklerimi onlara söyleyemezdim: Son derece başarılı baskın metoda saygı duyulması gerektiğini. Şimdi genç iş arkadaşlarım gibi ben de baskın metodun başarılı olmadığını düşünüyorum.

İlk olarak, Harvard'da öğrendiğim bilim yapma biçimi daha fazla ilerlemeye yol açmadı. Standart modeli kurgulamamızı sağladı ama daha ötesine geçmekte başarısız oldu. Otuz yıl sonra artık bu yöntemim, en azından şu an için, kullanışlı olmaktan çıkıp çıkmadığını sorgulamamız gerekiyor. Belki de günümüzde, Einstein ve arkadaşlarının kullandığı, daha düşünsel, felsefi ve riskli yöntemi kullanmalıyız.

Sorun sicim kuramından çok daha geniş; bir bütün olarak bilim camiasının kabul ettiği değerleri ve davranış biçimlerini içeriyor. Basitçe söylersek, fizik camiası, daha küçük ve daha temkinli söylemler geliştiren küçük araştırma programları yerine onlar yerine saldırganca kendilerini öne çıkaran daha büyük araştırma programlarına avantaj sağlayan bir yapıya sahip. Sonuç olarak, genç bilimciler başarıya ulaşmak için en büyük şansı, hâkim araştırma programlarının önemli problemlerini tatlı

[1] Paul Feyerabend, *Killing Time: The Autobiography of Paul Feyerabend* (Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1996).

teknik şekillerde çözüp kıdemli fizikçilerin gözüne girerek elde edebiliyorlar. Diğer yaklaşıma yönelmek –yani derin ve bağımsız düşünerek kendi fikirlerini oluşturmak– başarı için zayıf bir strateji oluyor.

Bu durumda fizik temel sorularını çözemez haldedir. Gidişatı tersine çevirmek gerek; küçük, riskli ve yeni araştırma programlarını özendirmek ve değişime açık olmayanlardan uzak durmak. Avantajı Einstein'lara –kendileri için düşünen ve güçlü ve kıdemli bilimcilerin fikirlerine önem vermeyenlere– kaydırmalıyız.

Ama şüphecileri ikna etmek için de Feyerabend'in bilimin nasıl çalıştığı üzerine sorusunu da cevaplamalıyız.

Birbirleriyle çelişen iki bilim tanımı var gibi gözüküyor. Bunlardan biri bilimi isyancıların diyarı olarak görüyor: Birey yeni ve büyük fikirlerle sahneye çıkar ve onların doğruluklarını ispatlamak için bir ömür boyu sıkı çalışır. Bu Galileo miti. Günümüzde de bu şekilde davranan ve çok beğenilen bilimciler var; matematiksel fizikçi Roger Penrose, karmaşıklık kuramcısı Stuart Kauffman ve biyolog Lynn Margulis gibi. İkinci görüşe göre bilim, ortodoks düşünceden sadece çok az sapmalara tahammül eden ve kaynaklarını sadece iyi tanımlı araştırma projelerine kanalize eden, muhafazakâr, fikir birliğine dayanan bir camiadır.

Bazı açılardan, iki görüş de doğrudur. Bilim hem isyankara hem de muhafazakâra muhtaçtır. Bu en başta bir ikilem gibi gelebilir. Yüzyıllarca varlık göstermiş bir girişim nasıl olur da isyankarın ve muhafazakârın birlikteliğini gerektirir? İşin püf noktası muhafazakârı ve isyankârı rahatsızlık verecek bir yakınlıkta hayat boyu tutabilmektir. Bu hem camia hem de tek tek bireyler için de gerçekleşmelidir. Peki bunu nasıl başarabiliriz?

Bilim, her bilimcinin ilke olarak konuşma hakkı olduğu için, bir demokrasidir ama çoğunluk kuralına hiç benzemez. Yine de bireysel yargının ödüllendirilmesine rağmen, fikir birliği önemli bir rol oynar. Gerçekten de, kabul etmek yararıma olsa da üzerine çalışmak istemediğim, ama meslektaşlarımın çoğunluğunun benimsediği bir araştırma programı karşısında nasıl

durabilirim? Buna cevap olarak demokrasinin çoğunluğun hükmünden çok daha fazla olduğundan bahsedebiliriz. Çoğunluğun hükmünü aşan bir idealler ve ahlak sistemi vardır.

Dolayısıyla eğer bilimin, sosyolojiden, akademik politikadan daha fazla bir şey olduğunu iddia edeceksek, kendi kendini yöneten bir insan topluluğu fikriyle uyumlu ama ondan daha fazla içeriği olacak bir bilim kavramına varmalıyız. Belirli bir yapının, bir tutumun bilim için iyi ya da kötü olduğunu savunabilmek için üzerinde değer yargıları oluşturacağımız ama popüler olan kavramların da ötesine gidebilen bir zemine sahip olmalıyız. Bu öyle bir zemin olmalı ki çatlak olarak nitelendirilmeden çoğunlukla fikir karşıtlığına girebilelim.

Feyerabend'in sorusunu daha basit sorulara bölerek başlayalım. Bilimciler bir soru üzerine fikir birliğine vardıklarında bilimin ilerlediğini söyleyebiliriz. Bunu sağlayan mekanizmalar nedir? Fikir birliği olmadan önce genellikle çekişme vardır. Fikir çatışmasının bilimin ilerlemesine yol açmaktaki rolü denir?

Bu sorulara cevap vermek için, daha önceki felsefecilerin fikirlerine dönmeliyiz. 1920'li ve 1930'lu yıllarda, Viyana'da adına *mantıksal pozitivizm* denilen bir felsefi akım doğmuştu. Mantıksal pozitivistler, önermelerin ancak doğada gözlendikleri zaman bilgiye dönüştüklerini ve bilimin bu doğrulanmış önermelerin bütünü olduğunu iddia ettiler. Bilim, bilimcilerin doğrulanabilir içeriği olan önermeler yapması ve bunların doğrulanması sonucu ilerler. Mantıksal pozitivistlerin amacı, gerçeklikle bağı olmayan ifadelerle ciltler doldurmuş metafiziği felsefeden çıkarmaktı. Bunda biraz da olsa başarılı oldular ama bilim üzerine yaptıkları mütevazi tanım pek yaşamadı. Birçok sorun vardı, bunlardan biri önermelerle gözlenenler arasında kesin bir bağdaşmanın olmamasıydı. En basit gözlemlerin yorumu bile peşin hükümlere ve kabullere dayanıyordu. Bilimcilerin önermelerini, her biri kuramdan arındırılmış bir gözleme tekabül edecek şekilde parçalara ayırmak hiç de kolay değil, belki de imkânsızdır.

Doğrulamacılık başarısız olunca, felsefeciler bilimin gerçeğe ulaşması kesin olan bir metot uyguladığını iddia ettiler. Rudolf

Carnap ve Paul Oppenheim gibi felsefeciler bilimsel metot için öneriler getirdiler. Karl Popper'in de kendi önerisi vardı: Buna göre bilimin ilerlemesi bilimcilerin yanlışlanabilir –yani deneylerle çeliştiği gösterilebilen– önermeler sunmalarına bağlıydı. Popper'e göre bir kuram hiçbir zaman tam olarak doğrulanamazdı ama birçok yanlışlama denemesinden başarıyla sıyrılırsa ona inanmaya başlayabilirdik; en azından nihayetinde yanlışlanana dek. [2]

Feyerabend felsefi hayatına bu fikirlere saldırarak başladı. Örneğin bir kuramı yanlışlamanın hiç de kolay olmadığını gösterdi. Çoğu zaman, bilimciler yanlışlanmış gözükmesine rağmen bir kurama bağlı kalıyorlardı. Bunu bazen deneyin yorumunu değiştirerek bazen de deneysel sonuçların kendisini eleştirerek yapıyorlardı. Bu durum bazen çıkmaz bir yola çıkıyordu çünkü bahsi geçen kuram gerçekten de yanlıştı. Hatta öyle zamanlar vardı ki deneysel çürütme gerçekleşmiş gözükse bile bir kurama bağlı kalmak, onu canlı tutmak doğru seçim olabiliyordu. Tam olarak bu durumlardan hangisinin geçerli olduğunu önceden nasıl bilebilirdik ki? Feyerabend bunu bilemeyeceğimizi iddia etti. Buna göre bilimciler değişik görüşler benimsiyor ve gelişmelerin neler getireceği karşısında şanslarını deniyorlardı. Bir kurama bağlı kalmayı ya da onu terk etmeyi seçmek için genel geçer bir kural yoktu.

Feyerabend, metodun bilimsel ilerleme için anahtar konumda olduğu fikrini de saldırdı. Gösterdi ki, kritik yol ayrımlarına gelindiğinde bilimciler kuralları bozarak ilerleme sağlıyorlardı. Hatta, bir "metodun" kurallarını sürekli izlersek bunun bilimsel ilerlemeyi durduracağını –bence ikna edici şekilde– söylüyordu Feyerabend. Bilim tarihçisi Thomas Kuhn'da bilimsel "metot kavramını" eleştirenler arasındaydı: Kuhn, bilimcilerin değişik durumlarda değişik metotlar uyguladıklarını iddia ediyordu.[3]

---

2 Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, (New York: Routledge, 2002). [*Bilimsel Araştırmanın Mantığı*, Yapı Kredi Yayınları, çev: İbrahim Turan, İlknur Aka, 2010]

3 Thomas S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions (Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1962).

Ama Kuhn, Feyerabend kadar köktenci sayılmazdı; sadece iki metottan bahsediyordu, "normal bilim"in ve bilimsel devrimlerin metotları.

Macar Imre Lakatos, Popper'in fikirlerini eleştiren bir başka felsefeciydi. Ona göre yanlışlama ve doğrulama arasında Popper'in sandığı kadar belirgin bir asimetri yoktu. Parlak kırmızı bir kuğu görürseniz, bütün kuğuların beyaz olduğunu söyleyen kuramı terk etmek yerine gidip kuğuyu kimin boyadığını araştırırsınız.[4]

Bu savlar bizi bir dizi problemle karşı karşıya bırakıyor. İlk olarak bilimin ilerlemesini hâlâ nasıl açıklayacağımızı bilmiyoruz; ikincisi (Popper'in dediği gibi) fizik ya da biyoloji gibi bilimleri, kendilerini bilim olarak öne sunan –örneğin Marksizm, cadılık ve akıllı tasarım gibi– diğer inanç sistemlerinden ayırmak imkânsızlaşıyor.[5] Bu tür bir ayrım yapılamazsa, ürkütücü bir tür görececiliğe kapı açılmış oluyor: Gerçek ve doğru hakkındaki her öneri eşit zeminde bulunabilir hale geliyor.

Diğer birçok bilimci gibi, tek bir metot izlemediğimize kendim de inansam da, yine de Feyerabend'in sorusunu yanıtlamamız gerektiğini düşünüyorum. Bilimin kültürde oynadığı rolü tartışarak başlayabiliriz.

Sonsuz bir uzay ve zamanı, sonsuz güzeli ve iyiyi hayal edebilen bizler tarih öncesi zamanlardan beri birçok dünyanın içinde yaşarız: fiziksel dünya, sosyal dünya, düşler dünyası ve ruhsal dünya. Bilim bu durum karşısında kültürümüzün geliştirdiği birçok vasıtadan biridir. Bu çeşitli dünyalara hâkim olmak için uzun zamandır vasıtalar arıyoruz ve bu insan olmanın önemli bir halidir. Bu aletlerin adı artık, bilim, politika, sanat

---

4 Imre Lakatos, *Proofs and Refutations* (Cambridge: U.K.: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1976).

5 Leonard Susskind antropik ilkenin geçerliliğini savunurken, yanlışlanabilirlik üzerinden itirazda bulunanları, *Popperazzi* olarak adlandırmıştı. Eleştirileri yanlışlanabilir olmanın bilimin nasıl işlediğinin sadece bir parçası olduğu üzerinden karşılamak bir şeyse, doğrulanabilir ya da yanlışlanabilir tek bir öneride bulunmayan bir kuramı bilimsellik üzerinden kabul görmesini savunmak bambaşka bir şeydir. Bu anlamda bir Popperazzi olmaktan gurur duyuyorum.

ve din olarak anılıyor. Bunlar, en eski zamanlarda olduğu gibi, şimdi de hayatlarımıza hâkim olmamızı sağlıyor ve umutlarımızın temel şeklini oluşturuyor.

Bunları adı ne olursa olsun, bilimsiz, politikasız, sanatsız ve dinsiz bir insan toplumu var olmamıştır. Kadim avcıların duvarlarını resimlerle bezediği mağaralarda o zamanlarda insanların on dört, yirmi sekiz ya da yirmi dokuzun katlarıyla saydığına kanıt oluşturacak örgüler içeren kemikler ve taşlar bulunmuştur. Arkeolog Alexander Marshack, *Menediyetin Kökleri* adlı kitabında bu bulguları ayın evrelerinin gözlemi olarak yorumlamıştır.[6] Belki de bunlar o zamanların bir tür doğum kontrol yöntemiydi. Her durumda, bu bulgular yirmi bin yıl önce insanların doğadan elde ettikleri deneyimleri kavramsallaştırmak için matematik kullandıklarını gösteriyor.

Bilim icat edilmedi. İnsanlar fiziksel dünyayı bizim anlayış çerçevemize yerleştirebilmek için aletler ve davranışlar keşfettikçe, zamanla gelişti. Demek ki, bilim doğa ve biz böyle olduğumuz için böyledir. Birçok felsefeci, yanlış olarak, diğer dünyalara da uygulanabilecek bir bilim tanımı aramaktalar. Her dünyada işlevsel olacak bir metot her hayvana konforlu gelecek bir koltuğa benzer; hemen her durumda eşit şekilde rahatsız olacak bir koltuk.

Gerçekten de, bu önermenin bir halini ispatlamak mümkündür. Diyelim ki, bilimciler ülkelerindeki en yüksek tepeyi bulmaya çalışan kör gezginler gibi olsun. Göremiyorlar dedik, ama neresinin yukarısı olduğunu hissettiklerini varsayalım ve her birine sesli olarak yüksekliği okuyan bir alet verelim. Bir tepede olduklarını göremeyeceklerdir ama bunu bileceklerdir çünkü ancak o noktada her yön aşağıya doğru devam edecektir. Burada sorun, ülkede birden fazla tepe olabileceğindedir; uzakları göremiyorsanız en yüksek tepede olduğunuzu bilemezsiniz. Bu kör gezginlerin en kısa zamanda en yüksek tepeyi bulmalarını sağlayacak bir yöntem bulmak, demek ki hiç de aşikâr değildir. Bu

---

6 Alexander Marshack, *The Roots of Civilization: The Cognitive Beginnings of Man's First Art, Symbol and Notation* (New York: McGraw-Hill, 1972).

sorun üzerine matematikçiler, imkânsızlığı ispatlanana kadar çalıştılar. David Wolpert ve William Macready'nin ispatladığı ve *bedava yemek yok teoremi* olarak adlandırılan bu teoreme göre, her topoğrafyaya uyacak şekilde tasarlanmış bir yöntem, rastgele dolanmaktan daha iyi olamaz.[7] Daha hızlı sonuçlar alabilecek bir yöntem için elimizde topoğrafyanın yapısı hakkında bilgiler olmalıdır. Nepal'de iyi işleyen bir yöntem Hollanda'da başarısız olacaktır.

Demek ki, felsefecilerin, her durumda geçerli olacak genel bir bilim yöntemi bulamamış olmalarına pek de şaşırmamak gerek. Hatta önerdikleri bazı yöntemlerde bilimcilerin gerçekte yaptıklarına pek de yaklaşamamıştır. Başarılı yöntem ve yaklaşımlar zamanla keşfedilmiş ve her bilimin pratiğine eklemlenmiştir.

Bunu anladığımız zaman, doğada bilimin faydalandığı özellikleri belirleyebiliriz. Bunlardan en önemlisi, doğanın görece kararlı olmasıdır. Fizikte ve kimyada tekrar edilebilir deneyler tasarlamak kolaydır. Bu böyle olmak zorunda değildi; örneğin biyolojide bu şans biraz daha azdır ve psikolojide daha da az. Ama deneylerin tekrarlanabildiği alanlarda, doğayı yasalar aracılığıyla betimlemek kullanışlıdır. Bu yüzden, fiziğin pratisyenleri en baştan beri genel yasalar keşfetmekle ilgilenmişlerdir. Burada önemli olan temel yasaların gerçekten de var olması değildir; nasıl bilim yapacağımız için önemli olan, ellerimizle yaptığımız araçları kullanarak keşfedebileceğimiz ve modelleyebileceğimiz düzenlilikler olup olmamasıdır.

Anlayışımıza o kadar da düşmanca davranmayan bir dünyada yaşıyoruz ve bu hep böyle oldu. Bir tür olarak var oluşumuzun başından beri, gökyüzündeki, mevsimlerdeki, hayvanların göçündeki, bitkilerin büyümesindeki ve kendi biyolojik döngülerimizdeki düzenli yapıları kolayca gözleyebildik. Taşlara ve kemiklere işaretler koyup bu düzenli döngüleri izlemeyi, onları birbirleriyle ilişkilendirmeyi ve bunları kendi yararı-

---

[7] D. H. Wolpert ve W. G. Macready, *No Free Lunch Theorems for Search*, Technical Report, Santa Fe Institute, SFI-TR-95-02-010.

mıza kullanmayı öğrendik. Günümüzün devasa teleskoplarıyla, güçlü mikroskoplarıyla ve gitgide büyüyen çarpıştırıcılarıyla yaptığımız aslında her zaman yapmış olduğumuz şeyin aynısıdır: Elimizdeki teknolojiyi kullanarak etrafımızdaki örgüleri keşfetmek.

Ama eğer bilim düzenliliklerle dolu bir dünyada yaşadığımız için işlevselse, bizim bildiğimiz şekliyle çalışmasının sebebi bizdeki bir özellikten kaynaklanmaktadır: *Bizler eksik bilgiden sonuçlar çıkarmada pek ustayız.* Etrafımızdaki dünyayı sürekli gözlüyor ve bundan sonuçlar çıkarıyor ve öngörülerde bulunuyoruz. Avcı-toplayıcıların da yaptığı buydu, mikrobiyolog ve parçacık fizikçilerinin de yaptığı budur. Çıkarsadıklarımız doğrulamak için elimizde hiçbir zaman yeterli veri olmaz. Tahminler ve önseziler üzerinden harekete geçmek ve bir yöne işaret etse de ispat olarak kabul edilemeyecek bilgi üzerine kendinden emin bir şekilde eylemde bulunmak, birini iyi bir iş adamı, iyi bir avcı ya da çiftçi ya da iyi bir bilimci yapan, gerekli bir hünerdir. Bu, insanları bu kadar başarılı bir tür yapan özelliklerin içinde önemli bir yer tutar.

Ama bu hüner bize oldukça pahalıya patlar; kendimizi kolayca kandırabiliriz. Şüphesiz ki, başkalarının bizi kandırabildiğini biliriz. Yalan söylemek, çok etkili olduğu için cezalandırılır. Sonuçta, yalana bu kadar kolay kanmamızın sebebi, eksik bilgiyle karar almayı çok iyi becerebilmemizdir. Genel yaklaşım güven üzerine kurulu olmalıdır, çünkü eğer her şey için ispata ihtiyaç duysaydık hiçbir şeye inanamazdık. Bu durumda da hiçbir şey *yapamazdık*; yataktan hiç kalkmazdık, hiç evlenmezdik, arkadaşlık ya da birlikler kurmazdık. Güven olmadan, tamamen yalnız hayvanlar olurduk. Dil etkili ve kullanışlıdır çünkü çoğu zaman diğerlerinin bize söylediklerine inanırız.

Ama aynı şekilde önemli ve ayıltıcı olan şey kendi kendimizi ne kadar çok kandırıyor olmamız. Hatta kendi kendimizi sadece bireyler olarak değil *kitleler halinde* de kandırıyoruz. Bir topluluğun, bireylerinin sonradan aşikârca yanlış olduğunu görebildikleri bir şeye bu kadar hızla inanması şaşırtıcıdır. Geçen yüzyılın en iç yakan trajedileri, iyi niyetli insanların kötü liderlerin

sunduğu kolay çözümlere kanması sonucunda gerçekleşti. Ama yine de fikir birliğine varabilmek önemlidir ve bizi biz yapan unsurlardandır, çünkü bunun sayesinde bir grup avcı başarıya ulaşır ya da bir kabile yaklaşan bir tehlikeden kaçabilir.

Demek ki, bir topluluğun hayatına devam edebilmesi için yanlışları düzeltici mekanizmalara ihtiyaç vardır: Yaşlılar gençlerin tepkiselliğini dizginler çünkü uzun hayatları boyunca öğrendikleri en önemli şey ne kadar sık yanılmış olduklarıdır; gençler de, nesiller boyu kutsal ve açıkça doğru olduğu kabul edilmiş fikirleri, bunlar artık yetersiz olmaya başladığında eleştirir. İnsan toplumu ilerlemiştir çünkü bireylerin hem başkaldırı hem de saygı yeteneklerine sahip olmasının faydalı olduğu ve bu karşıt eğilimlerin uzun zamanda dengelendiği sosyal mekanizmalar keşfedilmiştir.

İnanıyorum ki bilim bu mekanizmalardan biridir. Yeni bilgilerin keşfini ve geliştirilmesini teşvik eder, ama her şeyden öte, zamanla hataların yüzeye çıkmasını sağlayan bir melekeler ve pratikler bütünüdür. Kendimizi ve diğerlerini kandırma eğilimimizi –ki bu türümüze içkindir– dizginlemek için elimizdeki en iyi alettir.

Bu kısa tartışmadan, bilimin ve demokrasinin ortak özelliklerini çıkarsayabiliriz. Bilimsel camialar ve genel olarak insan toplulukları, yetersiz bilgiyle sonuçlara ulaşmak ve kararlar almak zorundadır. Her durumda, bilginin yetersiz oluşu, değişik bakış açılarına sahip grupların oluşumuna yol açacaktır. Toplumlar, bu fikir ayrılıklarını gidermek ve tartışmaları sonlandırmak için mekanizmalara ihtiyaç duyar. Bu mekanizmalar, hataların keşfine olanak sağlamalı ve uzun zamandır çözülmemiş problemlere yanıt getirebilen yeni fikirlerin eski yaklaşımların yerini almasına izin vermelidir. İnsan topluluklarında bu tür birçok mekanizma vardır; bunlardan bazıları güç ve zor gerektirir. Demokrasinin en temel iddiası bu tartışmalar barışçı şekilde çözüldüğünde toplumun daha işlevsel olacağıdır. Bu yüzden diyebiliriz ki, bilim ve demokrasi kendimizi kandırabiliyor olmamız hakkında ortak ve trajik bir farkındalığa sahiptir. Aynı şekilde, ikisinde de, toplum olarak düzeltme yöntemlerini

uygulamanın bizi, uzun vadede, tek tek bireylerinkini aşan bir ortak bilgeliğe ulaştıracağı inancı vardır.

Bilimi, bu şekilde, gereken yere yerleştirdikten sonra, artık neden bu kadar iyi işlediği sorusuna yönelebiliriz. İnanıyorum ki yanıt basittir: *Bilim başarılı oldu, çünkü bilimciler ortak bir ahlaka bağlılıkla tanımlanan ve sürekliliğini bunda bulan bir topluluk oluştururlar.* Bilimsel camiada düzelticiliği sağlayan temel unsurun, tek bir olguya ya da kurama bağlılığın değil, bir ahlaka bağlılığın olduğuna inanıyorum.

Bu ahlakın iki ilkesi vardır:

1. İyi niyetli insanlar, ortak olarak bilinen kanıtlar üzerinden akılcı bir şekilde bir olgu üzerinde fikir birliğine varabiliyorlarsa, bu kararı kabul etmek gerekir.
2. Öte yandan, aynı şartlar altında bir fikir birliği oluşamıyorsa o zaman toplum insanların farklı farklı sonuçlara ulaşmasına izin vermeli hatta bunu cesaretlendirmelidir.

Bence bilim başarılı oluyor, çünkü bilimciler, mükemmel şekilde olmasa da, bu iki ilkeye bağlı kalıyorlar. Bunun doğruluğunu irdelemek için bu iki ilkenin gerektirdiklerine bakalım.

- Sonuçlar üzerinde ortak kararların derecesi ne olacaksa olsun, ortak kanıtlardan yola çıkarak akılcı ve iyi niyetli tartışmalar yapmayı kabul ederiz.
- Her bilimci kanıtlardan kendi çıkarımlarını yapmakta serbesttir. Ama yine her bilimci, topluluğun bu çıkarımları irdeleyebilmesi için savlar geliştirmekle yükümlüdür. Bu savlar, sadece bütün bireylere açık kanıtlara dayandırılmalı ve akılcı olmalıdır. Kanıtlar, bu kanıtların elde edilmesinde önemli olan her şey ve kanıtlardan çıkarımların elde edilmesinde kullanılan mantık çizgisi, bütün bireylerin irdelemesini sağlayacak şekilde, açık ve paylaşılmış olmalıdır.
- Bilimle uğraşanların bu ortak kanıtlardan anlamlı çıkarımlar yapmaları uzun yıllar boyu geliştirilmiş araçların ve süreçlerin öğrenilmesine bağlıdır. Bunlar öğretim kapsamındadır çünkü deneyimler aracılığıyla güvenilir bir şekilde çalıştıkları bulunmuştur. Bunlar üzerine eğitim almış her bilimci, hatanın ve kendini kandırma olasılığının bilincindedir.

- Aynı zamanda, bilimsel camianın her ferdi nihai amacın ortak bir fikir birliğine varmak olduğunun farkındadır. Fikir birliği hemen gerçekleşebilir ya da uzun bir zaman alır. Bilimsel çalışma üzerinde en son karar ilerde kanıtları daha nesnel olarak irdeleyebilecek gelecek nesillere düşer. Bir bilimsel araştırma programı kısa zamanda pek çok yandaş bulabilir ama uzun vadede kuşkucuları tatmin edecek şekilde kanıt sunamayan bir araştırma programı ya da bir fikir başarıya ulaşamaz.
- Bilimsel camia herkese açıktır. Konum, yaş, cinsiyet ya da diğer herhangi bir kişisel özellik bir bilimcinin kanıtları değerlendirmesinde bir rol oynamaz ya da bunlar bir kişinin bilgiye, fikirlere ya da kanıtlara ulaşmasında engel oluşturamaz. Camiaya kabul yine de iki kritere bağlıdır.
- Bunlardan birincisi bahsi geçen bilimsel alanda diğer camia üyelerinin yüksek değerde olduğuna kanaat getireceği çalışmalar yapabilmek için gerekli melekelere sahip olmaktır. İkinci olarak, yukarda bahsettiğimiz ahlak normlarına bağlılık gelir.
- Belli bir alanda, belirli bir zaman süresi için, muhafazakâr tutumlar oluşabilir, ama camia kendi sağlığının devamı için karşı fikirlerin ve araştırma programlarının gerekliliğinin bilincindedir.

İnsanlar bir bilimsel camiaya dahil olduklarında, evrensel olsa da çocuksu olarak tanımlayabileceğimiz bazı isteklerden vazgeçerler. Bu çocuksu istekler, her zaman doğru olmak ihtiyacı ve mutlak gerçeğe vakıf olma hissidir. Bunun karşılığında, tek başına bireylerin hiçbir zaman gerçekleştiremeyecekleri bir girişimde bulunanlar arasında olurlar. Aynı zamanda, belirli bir konuda uzman eğitimi alırlar ki bu çoğu durumda kendi başlarına yapabileceklerinden daha fazlasını öğrenmelerini sağlar. Bu melekelerin öğrenilmesi için gereken emek karşılığında, camia onlara kanıtlara en iyi uyduğunu düşündükleri araştırma programını savunma hakkını sağlar.

Üyelik şartlarının, belirli ahlak kurallarına bağlılık ve bunları gerçekleştirmek için öğrenilen melekelere dayandığı topluluklara *ahlaki topluluklar* diyeceğim. Biliminin bu tür bir topluluğa en saf örnek olduğunu savunacağım.

Ama bilimi bir tür ahlaki topluluk olarak tanımlamak yetersiz olacaktır, çünkü yeni gerçekler keşfetmek yerine eskilerini korumaya yönelik birçok ahlaki topluluk vardır. Birçok durumda, dinsel topluluklar, yaptığımız ahlaki topluluklar tanımlarına uymaktadır. Aslında, bugün bildiğimiz haliyle bilim, görevleri dinsel dogmaları korumakla sınırlı manastırlardan ve dinsel öğretilerden doğmuştur. Dolayısıyla bilim hakkında yaptığımız tanımın dişli olması için, bir fizik bölümünü bir manastırdan açıkça ayırabilmemiz gerekir.

Bunu sağlamak için, ikinci bir kavram önermek istiyorum: Buna *yaratıcı camia* adını vereceğim: *Ahlaki yapısı ve organizasyonu gelişmenin engellenemez yapısına inanca ve geleceğe açık olmaya dayanan bir camia.* Bu açıklık yapısal ve hayal gücü olarak sürprizler ve yaratıcı yeniliklere olanak verecektir. Sadece geleceğin daha iyi olacağına dair bir inançtan bahsetmiyorum, bu daha iyi geleceğin nasıl olacağını ve buna nasıl erişeceğimizi öngöremeyeceğimize dair bir inancı da ima ediyorum.

Ne kökten dinci ne de Marksist bir devlet hayal gücü gelişmiş yapılardır. Daha iyi bir geleceğe yönelmiş olabilirler, ama bu geleceğe nasıl erişeceğimizi de tam olarak bildiklerini iddia ederler. Büyürken, Marksist büyükannemden ve arkadaşlarımdan çokça duydum; "bilimleri" onlara "durumun doğru analizini" sağladığı için doğru olduklarından emindiler.

Yaratıcı güçle ilerleyen bir topluluk geleceğin sürprizlere gebe olduğuna inanır; yeni buluşlar çözülmesi gerekecek yeni açmazlara yol açacaktır. Şu andaki bilgiye inanç duymak yerine, bireyler gelecek için umutlarını ve beklentilerini sonraki nesiller için yatırırlar; onlara, bugünün hayal gücünün ötesinde gerçekleşecek durumlarla baş edebilmeleri ve bundan fayda sağlayabilmeleri için, bireysel ve kolektif olarak edinilmiş ahlaki ilkelerini ve düşünce araçlarını öğretirler.

İyi bilimciler öğrencilerinin onları aşacağı beklentisindedir. Akademik sistem başarılı bir bilimciye, onun kendi otoritesine inanması için birçok sebep sunsa da, her iyi bilimcinin farkında olduğu gibi, öğrencilerinizden daha fazlasını bildiğinizi düşünmeye başladığınız anda artık bilimci değilsinizdir.

Kısacası, bilimsel bir camia hem ahlaki hem de yaratıcı bir topluluktur.

Bu tanımdan açık olduğu üzere, bilimsel ilerleme için fikir ayrılıkları merkezi önemdedir. İlk ilkeme göre, eğer kanıtlar üzerinden bir fikir birliğine zorlanıyorsak bunu kabul etmeliyiz. Ama ikinci ilkem de bu tür bir fikir birliği kanıtlarla zorlanana kadar çok çeşitli fikirleri desteklemeliyiz. Bu bilim için iyidir, Feyerabend bunu sıklıkla söylüyordu ve bunda haklı olduğuna inanıyorum. Eğer birbirleriyle yarış içinde kuramlar varsa bilim daha hızlı ilerler. Daha eski ve naif kanıya göre kuramlar teker teker önerilir ve verilerle karşılaştırılır. Fakat bu bakış açısı, kuramların yapılan deneyler üzerinde nasıl bir nüfuzu olduğunu ve bunları nasıl irdelediğimizi göz önüne almıyor. Eğer herhangi bir anda sadece bir kuram üzerine çalışıyorsak, bu kuramın yarattığı zihinsel tuzaklara düşme ihtimalimiz artacaktır. Bundan kurtulmanın tek yolu, aynı deneysel veriyi değişik kuramlarla açıklamaya çalışmaktır.

Feyerabend, tüm kanıtlarla uyumlu ve genel kabul gören bir kuramın varlığında dahi bilimin ilerlemesi için yarışma içinde olacak yeni kuramlar icat etmek gerektiğini söylüyordu. Çünkü kabul görecek kuramla çelişecek bir öngörüyü olası yeni bir kuram bulacaktır ve eğer bu tür bir kuram yoksa bu açıklama da bilinmeyecektir. Kısacası birbirleriyle çekişme içinde olan kuramlar deneysel anomalilere yol açar; bunun tersi de genelde doğrudur.

Bu yüzden, Feyerabend, zorlanmadıkları sürece bilimcilerin fikir birliğinden her zaman kaçınmaları gerektiğini söylüyordu. Eğer bilimciler, deneysel verilerin gerçek bir zorlamasına gerek duymadan erkenden fikir birliğine varıyorlarsa, bilim tehlike altında olacaktır. Bu durumda, onları bu erken karara vardırmış sebepleri araştırmamız gerekir. İnsanlardan bahsettiğimize göre, bunun cevabı dinsel inançlardan, popüler kültürdeki moda akımlarına kadar kanıtlara dayanmadan fikir birliği oluşturan yapıların içeriğiyle aynı olmalıdır.

Sormamız gereken soru şu: Bilimcilerin neden fikir birliğine varmalarını isteriz; beğenilmek ya da çevresindekiler tarafın-

dan parlak olarak algılanma dürtüsü mü, etraflarındaki herkesin hemfikir olmasından mı yoksa kazanan takımda olmak istedikleri için mi? Birçok insan, buna benzer sebeplerden ötürü diğerleriyle fikir birliğinde olur. Bilimciler de buna dahildir; sonuçta onlar da insandır.

Yine de eğer bilimi canlı tutmak istiyorsak bu tür dürtülere karşı koymalıyız. Tam tersini cesaretlendirmeliyiz; kanıtların elverdiği ölçüde fikir ayrılığında olmayı. İnsanların ne kadar beğenilmek, bir şeyin parçası olmak, kazanan takımda olmak gibi dürtüleri olsa da bunlara kapıldığımızda bilimi sekteye uğrattığımızı açıkça bilmeliyiz.

Bilimin fikir karşıtlıklarını cesaretlendirmesi için başka sebepler de var. Bilim eğer beklenmedik bir sonuç üzerinde fikir birliğine yönelmek zorunda kalırsak ilerler. Eğer sonucu *bildiğimizi* düşünüyorsak, her sonucu bu öncüle uygun hale getirmeye çalışırız. Bilimi canlı tutan ve ilerlemesini sağlayan şey çelişkidir. Değişik fikirlerle dolu bir ortamda insanları fikir birliğine zorlayacak sosyolojik etkiler yeteri kadar güçlü değildir. Böylece ender rastlanan durumlarda, eğer fikir birliğine varıyorsak bu başka seçenek olmadığı içindir. Kanıtlar bunu zorlar, beğenmesek de. Bilimin ilerleyişi bu yüzden gerçektir.

Bilimin bu tür bir yorumuna birçok aşikâr itirazlar yapılabilir. İlk olarak, bahsettiğim camia ahlakını ihlal eden bireyler vardır. Bilimciler çoğu zaman kanıtları abartır ve hatta saptırır. Bilimsel camianın işleyişinde, yaş, konum, moda, arkadaş baskısı gibi birçok olgu etkendir. Bazı araştırma programları, kanıtların gerektirdiğinden daha fazla yandaş ve kaynak elde edebilir. Ümit vaat eden diğer bazı programlarsa sosyolojik kuvvetler tarafından bastırılır.

Yine de şunu belirmek isterim: Sonradan yanlış olduğu anlaşılan, ortodoks ve moda fikirler üzerinden çok zaman ve kaynak israfı olsa da, yeteri kadar sayıda bilimci yeteri kadar ahlaklı olduklarından uzun vadede bilim hâlâ ilerlemektedir. Ama zaman olgusunu vurgulamamız gerekir. Kısa vadede ne olursa olsun, yıllar boyu eninde sonunda yeteri kadar kanıt birikecek ve modaya rağbet etmeden karşıt kuramları bir fikir birliğine zorlayacaktır.

Başka bir itiraz da, önerdiğim yorumun mantıksal olarak eksik olmasına yöneltilebilir. Hangi melekeleri öğrenmenin gerekli olduğunu saptamamıza yarayacak bir kriter sunmadım. Ama inanıyorum ki, nesiller geçtikçe bilimsel camia bunu kendi kendine yapmayı beceriyor. Şu anda kullandığımız araçları ve prosedürleri ne Newton ne de Darwin öngörebilirdi.

Ortak ahlaka bağlılık hiçbir zaman mutlak olamaz, bu yüzden de bilimin pratiğini geliştirmemiz için olanaklar hep bulunabilir. Bu, özellikle günümüzde doğru görünüyor: En azından fizikte, moda fikirler gereğinden fazla bir rol oynuyor gibi. Bunun gerçek olduğunu, genç ve parlak bilimcilerle konuştuğunuzda size aslında X yapmak istediklerini, ama güçlü ve kıdemli insanlar Y yaptığı için Y yaptıklarını ve bir iş ya da kaynak bulmak için buna mecbur hissettiklerini söylediklerinde anlarsınız. Şüphesiz, bilimde ya da diğer alanlarda, kısa vadede Y yapmanın daha fazla getirisi olduğunu görmelerine rağmen X yapmayı seçen az sayıda insan hep vardır. Bir sonraki nesle önderlik edecek insanlar büyük olasılıkla bunlar içinden çıkacaktır. Kısacası, ortodoks ve moda yaklaşımlarla bilimin ilerlemesi yavaşlasa da, Y yerine X yapmayı seçenler için yer olduğu sürece tam olarak durdurulamaz.

Bütün bunlardan şu çıkıyor: Diğer birçok insan uğraşı için olduğu gibi bilim için de, cesaret ve karakter yapısı ilerlemeyi sağlayan önemli etkenlerdir. Bilimin ilerlemesi uzun vadede oluşabilecek bir fikir birliğine dayansa da, birey olarak bilimcilerin, ne yapılması, kanıtların nasıl değerlendirilmesi üzerine aldığı kararlar hep eksik bilgiler üzerine kurulu olacaktır. Bilim ilerler, çünkü eksik bilgi karşısında hepimizin eşit olduğunun farkında olan bir ahlaka dayanır. Kimse, belirli bir yaklaşımın başarıyla ya da yıllar süren çalışmanın boşa gitmesiyle sonuçlanacağını kesinlikle bilemez. Tek yapabileceğimiz, genelde güvenilir sonuçlara ulaştırdığını deneyimlerle belirlediğimiz melekeleri öğrencilere iletmektir. Bundan sonra, onları kendi fikirlerini ve sezgilerini izlemek üzere serbest bırakmamız ve bize bir şeyler söylemek istediklerinde de onları dinlemek için zaman ayırmamız gerekir. Camia yeni fikirlere ve bakış açılarına

olanak sağladığı ve nihayetinde herkese açık kanıtlar üzerinden fikir birliğine varmamız gerektiğini vazeden bir ahlaki yapıya bağlı kaldığı sürece bilim nihayetinde ilerleme kaydedecektir.

Bilimsel camiayı oluşturma süreci hiçbir zaman bitmeyecektir. İlerde de her zaman, ortodoksluğa, modaya, yaşa ve konuma dayanan yapıları aşmak için mücadele etmek gerekecektir. Aynı şekilde her zaman, bir soruna en başından yeni yaklaşımlar geliştirmek yerine, işin kolayına kaçma, kazanıyor gibi gözüken bir takıma katılma dürtüsü var olacaktır. En iyi durumlarda, bilimsel camia bizi en kötü dürtülerimizden korur ve en iyilerinden faydalanmamızı sağlar: Hepimizde var olan ve işe bir şekilde kattığımız kibri ve hırsı da bunun için kullanır. Belki de, Feynman'ın dediği en doğrusudur: *Bilim, uzmanların fikirleri karşısında organize olmuş kuşkuculuktur.*[8]

[8] Richard P. Feynman, "What is Science?" *The Physics Teacher*, Eylül 1969.

18. KÂHİNLER VE ZANAATKÂRLAR

Belki de bilimde bir devrim yapmaya çalışırken tuttuğumuz yolda bir terslik vardır. Bir önceki bölümde bilimin, toplumsal ahlaka olduğu kadar bireysel ahlaka da bağlı olması yüzünden kırılgan ve insan zaaflarına tabii bir insan kurumu olduğundan bahsetmiştim. Bu yapı işlevini kaybedebilir ve inanıyorum ki şu anda olan da bu.

Bir topluluk, çoğu zaman, organizasyon şekline bağlı olan bir düşünme biçimine kısıtlanır. Önemli bir soru şu: Elimizdeki problemleri çözmek için doğru fizik yöntemine mi itibar ediyor, doğru fizik yöntemini mi ödüllendiriyoruz? Bunun bilişsel karşılığı olarak da: Doğru soruları mı soruyoruz?

Temel fizik üzerinde kafa yoranların birleştikleri şey yeni fikirlere ihtiyaç duymamızdır. Sicim kuramına en acımasız eleştirileri getirenlerden onun en hararetli yandaşlarına kadar herkes aynı şeyi söylüyor: Çok önemli bir şeyi kaçırıyoruz. 2005 yılında düzenlenen yıllık sicim konferansında "Bir Sonraki Süpersicim Devrimi" başlıklı bir toplantıya yer vermiş olmaları, konferansı düzenleyenlerin de yeni bir kavrama duyulan ihtiyacın farkında olduklarını gösteriyor. Şu anda, bu tür bir ihtiyaca güveni tam olanlar diğer alanlarda çalışıyor olsa da, tanıdığım hemen her fizikçi büyük bir fikrin eksik olduğunu düşünüyor.

Bu tür bir fikri nasıl keşfedebiliriz? Açıkçası, ya birisi şu ana kadar yaptığımız kabullerde bir yanlışa parmak basacak ya da yeni bir soru soracak: Temel fiziğin geleceğini güvenceye alacak kimse böyle olmalı. Bu durumda şuna varıyoruz: Yanlış kabullerimizi bulacak ya da doğru soruları soracak insanları camiaya kabul edecek ve aynı şekilde önemli olarak onları dinlememizi sağlayacak bir sisteme sahip miyiz? Bu tür ender yeteneklere sahip yaratıcı isyankarları bağrımıza mı basıyoruz, yoksa onları dışlıyor muyuz?

Özgün, iyi ve konunun merkezine inebilen soruları sorabilecek insanlar nadirdir. Aynı şekilde teknik bir araştırma alanının durumuna bakıp yeni araştırma yönleri ya da farkına varılmadan kabul edilmiş kabulleri görmek de fizik camiasına kabul edilmek için öğrenilmesi gerekli gündelik melekeleri oldukça aşan bir beceridir. İşinin ehli bir zanaatkâr olmak bir şeydir; ama bir kâhin olmak bambaşka.

Aradaki ayrım kâhinin çok deneyimli bir bilimci olmadığı anlamına gelmiyor. Kâhin, konuyu baştan aşağıya bilmeli, alanın hesaplama tekniklerine hâkim olmalı ve alanın kullandığı dilde ikna edici şekilde iletişim kurabilmelidir. Yine de kâhinin alandaki en yetenekli insan olması gerekmez. Tarihe baktığımızda görüyoruz ki, kâhin rolünü iyi oynamış olanlar matematiksel olarak zeki ve problem çözmede mükemmele erişmişlerle kıyaslandığında bazen sıradan gözükebilir. En önemli örnek, Einstein'dır; gençliğinde bir bilimci olarak iyi bir iş bile bulamamıştı. Fikir yürütmede yavaştı ve kolayca kafası karışıyordu; diğer bilimciler ondan çok daha iyi matematik biliyordu. Şöyle demiş olduğunu biliyoruz, "Zeki olduğumdan değil, sadece bir problem üzerinde daha uzun kafa yoruyorum."[1] Niels Bohr daha da uç bir örnekti. Onun çalışmalarını incelemiş olan tarihçi Mara Beller, araştırma defterlerinde tek bir hesap bile olmadığını, her şeyin sözel ifadelere ve resimlere dayandırılmış olduğuna işaret ediyor.[2] Louis de Broglie, eğer ışık hem dalga hem de parçacık özelliklerine sahipse belki elektron gibi parçacıkların da dalga özelliği gösterebileceğini söylemişti. 1924 yılında bitirmiş olduğu doktora tezi buna dayanıyordu ama fikrini inceleyen komiteyi etkileyememişti ve Einstein'ın desteği olmasaydı başarısız olacaktı. Bildiğim kadarıyla sonra bu kadar önemli sonuçları olan çalışmalar yapmadı. Hem ileri görüşlü hem de zamanının en iyi matematikçisi olarak kabul edebileceğim sadece Isaac

---

1 Alıntı. Simon Singh, "Even Einstein Has His Off Days", *New York Times*, 2 Ocak 2005.

2 Örnek olarak *bkz.* Mara Beller, *Quantum Dialogue: The Making of a Revolution* (Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1999).

Newton'ı biliyorum. Gerçekten de Newton hakkındaki her şey tekil ve açıklanamaz durumdadır.

Geçen bölümde bahsettiğimiz gibi, Thomas Kuhn "normal bilim" ile bilimsel devrimler arasında bir ayrım yapmıştı. Normal bilim bir paradigmaya dayanır; sabit bir kurama, sabit soru şekillerine, hesap tekniklerine ve deneysel yöntemlere yaslanan iyi tanımlı bir bilim pratiği. Eğer bir paradigma çökerse, yani yeni deneylerde açıklayamadığı olgularla karşılaşırsak, bilimsel bir devrim gerçekleşir.[3] Bilimin hep böyle işlediğine inanmıyorum, ama normal ve devrimsel denilebilecek dönemler tabii ki vardır ve bilim bu dönemlerde ayrı yöntemlerle ilerler. Burada asıl nokta normal ve devrimci dönemlerde değişik tip insanların önemli olmasıdır. Normal dönemlerde, hayal güçleri ne seviyede olursa olsun (ki oldukça yüksek olabilir), sadece teknik araçları kullanmakta ustalaşmış insanlara ihtiyaç vardır. Bunlara uzman zanaatkârlar diyelim. Devrimci dönemlerdeyse, karanlığın ötesini görebilen kâhinlere ihtiyaç vardır.

Uzman zanaatkârlar ve kâhinler bilimsel camiaya değişik sebeplerle katılırlar. Uzman zanaatkârlar, bilime yönelirler, çünkü çoğu örnek için, okulda bu melekelerini keşfetmişlerdir. Genel olarak ilkokul, lise ve üniversite öğrenimi boyunca –eşitleriyle karşılaştıkları lisansüstü dönemine kadar– sınıflarında matematik ve fizik alanında en iyi öğrenciler olmuşlardır. Sınıf arkadaşlarına oranla her zaman matematiksel problemleri daha hızlı ve doğru çözebilmişlerdir ve bu yüzden de diğer bilimcileri değerlendirirken bu yeteneğe önem verirler.

Kâhinler bambaşkadır. Onlar hayalcidir. Onları bilime çeken şey okul kitaplarında cevabını bulamadıkları soruları araştırma ihtiyacıdır. Eğer bilimci olmazlarsa, yazar ya da sanatçı olabilirler ya da ruhban okullarına gidebilirler. Bu iki grup insanın birbirlerini anlamayacağını ve birbirlerine güven duymayacağını beklemek normaldir.

[3] Thomas S. Kuhn, *The Strurcture of Scientific Revolutions* (Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 1962)

Kâhinlerin standart fizik eğitimi hakkında yaptıkları ortak bir eleştiri tarihsel ve felsefi noktaların atlanıyor olmasıdır. Fizik derslerine biraz da felsefe kaymaya meylettiğinde eleştirilerle karşılaşmış genç bir fizikçiye Einstein'ın yazmış olduğu bir mektuptan şu alıntıya bakalım;

> Tarih ve bilim felsefesinin en az metodoloji kadar öğretimsel değere ve öneme sahip olduğuna dair fikrinize tamamen katılıyorum. Uzman bilimciler dahil olmak üzere, günümüzde birçok insan binlerce ağaç görmüş olsa da hiç orman görmemiş gibi. Tarihsel ve felsefi ardalanı bilmek insana birçok bilimci mustarip olduğu kendi neslinin peşin hükümlerinden bağımsız şekilde düşünme olanağı verir.. Felsefi içgörünün getirdiği bu bağımsızlık bence basit bir zanaatkâr ile gerçeği arayan biri arasındaki farkı en iyi tanımlayan şeydir.[4]

Şüphesiz ki, bazı insanlar bu ikisinin bir karışımıdır. Teknik yönlerden güçlü olmayan kimse lisansüstü eğitimi tamamlayamaz. Ama tanıdığım fizikçilerin büyük çoğunluğu bu iki grubun sadece birine dahil. Peki ya ben? Ben kendimi arada sırada problem çözme konusunda katkılar yapabilecek kadar zanaata hâkim bir sözde kâhin olarak görüyorum.

Kuhn'un normal bilim ve devrimci bilim dönemlerine dair kategorileriyle lisans eğitimim sırasında ilk karşılaştığımda biraz kafam karışmıştı çünkü hangi dönemde olduğumuzu çıkaramıyordum. Ucu açık kalmış sorular üzerinden düşündüğümde bir devrime doğru gittiğimizi, ama etrafındaki bilimcilerin nasıl çalıştıklarına baktığımda tam da normal bilim dönemine uygun bir tarz görüyordum. Adına parçacık fiziğinin standart modeli dediğimiz bir paradigma vardı deneysel veriler onaylıyordu ve normal bir şekilde ilerliyordu.

Şimdi, kafamı karıştıranların bu kitapta keşfetmeye çalıştığım şeylere bir ipucu oluşturduğunu anlıyorum. Gerçekten de

---

[4] Einstein'dan R. A. Thornton'a basılmamış 7 Aralık 1944 tarihli mektup. EA6-574. Einstein Arşivi, Hebrew Üniversitesi, Kudüs. Don Howard tarafından şurada alıntılandı: Don Howard, "Albert Einstein as a Philosopher of Science," *Physics Today*, Aralık 2005.

devrimci bir dönemdeyiz ama içinden normal bilimin yapıları ve pratikleriyle geçmeye çalışıyoruz.

İşte, fiziğin geçmiş yirmi beş yılı hakkındaki temel savım bu. Devrimci bir dönemde olduğumuza şüphe yok. Kötü şekilde takılmış durumdayız ve gerçek kâhinlere ihtiyacımız var, hem de ciddi olarak. Ama kâhinlere en son ihtiyaç duyduğumuzdan beri uzun zaman geçti. Yirminci yüzyılın başında ileri görüşlülükleriyle devleşmiş birkaç fizikçi vardı: En başta Einstein, ama aynı zamanda Bohr, Schrödinger, Heisenberg ve diğer birkaç bilimci. Başlattıkları devrimi tamamlayamadılar ama üstüne inşa etmemiz için bize kısmen başarılı kuramlar –kuantum mekaniği ve genel görelilik– iletmeyi becerdiler. Bu kuramların gelişmesi için oldukça fazla zorlu ve teknik emeğe gerek vardı ve bu yüzden birçok nesil boyunca fizik uzman zanaatkârların hâkimiyeti altında, "normal bilim" halinde ilerledi. Aslında 1940'lar boyunca Amerikalıların hâkimiyeti Avrupalılardan devralması tam da uzman zanaatkârların kâhinlere üstünlük sağlaması olarak görülebilir. Daha önce söylediğimiz gibi, bu kuramsal fizikte tarzların yer değiştirmesine yol açtı. Einstein ve arkadaşlarının düşünsel ve kurucu tarzının karşısında nihayetinde standart modelin keşfiyle sonuçlanan ameli ve saldırgan tarz hâkim oldu.

1970 yıllarında fizik okurken, sanki bize bu temel konular üzerinde düşünenleri aşağılamak öğretiliyordu. Kuantum kuramının temel sorunları hakkında sorular sorduğumuzda bize bunu kimsenin anlamadığı ama bunların bilimin alanına girmediği söyleniyordu. İşimiz kuantum mekaniğini olduğu gibi kabul edip onu yeni problemlere uygulamaktı. Yaklaşım ameliydi ve "sus ve hesapla" da sloganı. Kuantum mekaniğinin sorunları üzerinde düşünmeyi bırakmayanlar işini beceremeyen zayıflar olarak algılanıyordu.

Fiziğe Einstein'ın felsefi fikirlerini okuyarak başlamış biri olarak bu tür bir yaklaşımı kabul etmem mümkün değildi ama mesajı aldım ve elimden geldiği kadar ona uydum. Bir kariyere sahip olmanız için kuantum mekaniğini veri alarak çalışmamız gerekiyordu, onu sorgulayarak değil. Şanslı bir rastlantıyla

Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsünü biraz ziyaret ettim; ama Einstein'ın bilim yapma tarzından eser kalmamıştı; sadece ona benzeyen bronz bir büst kütüphanede sessizce bize bakıyordu.

Ama devrim tamamlanmamıştı: Parçacık fiziğinin standart modeli ameli fizik yapma yönteminin açık bir zaferiydi, fakat bugünlerde bu zaferinde sonlarına geldik gibi gözüküyor. Standart model ve belki sadece şişme kuramı normal bilim yolunda katedeceğimiz sınırları belirliyor gibi. O zamandan beri sıkışmış durumdayız çünkü devrimci bilim tarzına dönmemiz gerekiyor. Tekrardan birkaç kâhine ihtiyacımız var. Asıl sorun şu anda bunlardan çok az sayıda var çünkü uzun zamandır onlara sadece çok az tahammül edebilen ve onları ender olarak takdir eden bir bilim yapma tarzıyla devam ediyoruz.

Yirminci yüzyılın başından geçtiğimiz yirmi beş yılın başına kadar bilim –ve genel olarak akademi– önceki zamanlara oranla çok daha fazla organize oldu ve uzmanlaştı. Bu yüzden de normal bilim tarzı iyi bilim için tek tarz olarak kabul edildi. Bir devrime ihtiyaç duyulduğu üzerine herkes hemfikir olsa da, toplumumuzun en güçlü kesimleri bunu nasıl gerçekleştireceğini unutmuş durumda.

Devrimi normal bilime uygun yapılarla ve tarzlarla gerçekleştirmeye çalışıyorduk. Sicim kuramının bu çelişkili durumu –çok fazla vaat, çok az sonuç– çok sayıda son derece yetenekli uzman zanaatkârın kâhinlerin işini yapmaya çalıştıklarında neler olacağını tam olarak gösteriyor.

Sicim kuramcılarının bu yoruma karşı geleceklerine eminim. Gerçekten de fiziğin temelleri üzerine çalışıyorlar ve yeni yasalar keşfetmeyi amaçlıyorlar. Sicim kuramcıları neden kâhin değil? Solucan delikleri, fazladan boyutlar ve çoklu evrenler yaratıcı fikirler değil mi? Şüphesiz ki ama sorun burada değil. Soru şu: Fikirler ne üzerine ve bunların çerçevesi nedir? Kaluza ve Klein ilk olarak yetmiş beş yıl önce önerdiğinden beri fazladan boyutlar yenilik sayılmaz. Hatta yüzlerce diğer bilimci bu tür şeyler üzerine düşünüyorsa bu tür fikirlere varmak için ne cesaret ne de öngörü gerekir.

Şu andaki durumumuzu tahlil etmek için bir başka ekseni şöyle ifade edebiliriz: Kâhinler açıklık için duydukları istek gereği fiziğin temelleri üzerine en derin sorularla ilgilenir. Bunlar kuantum mekaniğinin temelleri ve uzay ve zaman üzerine sorulardır. Kuantum mekaniğinin temel sorunları üzerine son on yılda birçok kitap yazıldı ama bildiğim kadarıyla bunlardan hiçbiri önder sıfatında bir sicim kuramcısı değil. Ne de bir sicim kuramcısının, sicim kuramının karşı karşıya olduğu problemleri fizikçilerin ve felsefecilerin uzay, zaman ve kuantum kuramı üzerine temel sorunları irdelemiş eski metinlerine ilişkilendiren bir makale yazdığına tanık olmadım.

Buna karşı olarak, ardalandan bağımsız kuantum kütleçekim kuramının önderleri, fiziğin temellerinin derin sorunları üzerine hayat boyu düşünmüş insanlardır. Fikirleri makalelere hatta kitaplara yol açmış insanları sıralamak kolay: Roger Penrose, sanıyorum genel olarak toplumun en çok tanıdığı isim, ama John Baez, Louis Crane, Bryce de Witt, Day Dowker, Christopher Isham, Fotini Markopoulou, Carlo Rovelli, Rafael Sorkin ve Gerard 't Hooft gibi isimleri de ekleyebiliriz.

Buna karşıt olarak, kuantum mekaniğinin temelleri ya da zamanın doğası üzerine özgün bir fikir üretmiş bir sicim kuramcısı bulamıyorum. Sicim kuramcıları buna genel olarak baştan savıcı bir cevap verirler: Bütün bu sorunların hep beraber çözüldüğünü söylerler. Bazı durumlarda bu sorunların gerçekten de önemli olduğunu kabul eder ama şu anda bunun için çok erken olduğunu hemencecik söyleyiverirler. Genelde şuna varırlar: Sicim kuramının gelişmesini izlemeye devam etmeliyiz, çünkü sicim kuramı doğru olduğuna göre, bütün bu sorunların çözümlerini de içerecektir.

Bilimi bir zanaat olarak yaşayan, işi bir tekniğin uzman seviyesinde icrasına dayananlara karşı hiçbir sorunum yok. Normal bilimi bu kadar güçlü yapan şeyler bunlar çünkü. Ama eldeki kuramları kullanarak problem çözmede teknik olarak uzmanlaşmamın bilimin temel sorunlarına cevap olacağına inanmak bir fantezidir. Durum böyle olsaydı fena olmazdı hani; daha az düşünmememiz gerekirdi ve düşünmek gerçekten zordur, buna

eğilimi olanlar için bile. Ama derinliği olan, inatçı sorunların çözümüne hiçbir zaman rastlantı eseri ulaşmayız; bunları ancak bu sorunlara kafayı takacak kadar inatçı olup peşinden gidenler çözer. Bunlar kâhinlerdir, bu yüzden akademik dünyanın bu tür insanları uzak tutmak yerine onları bünyesine davet etmesi çok önemlidir.

Bilim hiçbir zaman kâhinlere arkadaşça davranacak bir yapıya sahip olmadı; Einstein'ın iş bulamaması olayı tekil bir örnek de değildir. Ama yüzyıl önce, akademik dünya hem daha küçüktü hem de daha az uzmanlaşmıştı. Bunun sonucu olarak akademi bünyesinde olmayan ama iyi eğitimli insanların sayısı az değildi. 19. yüzyılın mirası buydu. O zamanlar bilim yapanların çoğu meraklı amatörlerden oluşuyordu; ya çalışma ihtiyacı duymayacak kadar zengindiler ya da ikna yetenekleri bir destekçi bulabilecek kadar iyiydi.

Tamam! Peki bu kâhinler kimdir? Tanımımıza göre bunlar oldukça bağımsız ve kendilerini yöneltebilen insanlardır ve bilime o kadar bağlıdırlar ki bu şekilde para kazanıyor olmasalar bile ondan vazgeçmezler. Akademik dünyamız onlara pek arkadaşça davranmasa bile bir yerlerde birkaçı olmalı. Kimdir bunlar ve büyük problemleri çözmek için neler becerdiler?

Aslında tam gözümüzün önündedirler. Çoğumuzun kabul ettiği varsayımları reddetmelerinden tanıyabiliriz onları. İsterseniz size bazılarını tanıtayım.

Özel görelilik kuramının yanlış olduğuna kolay kolay inanmam; eğer öyleyse, hareketsizliğini kesin olarak tanımlayabileceğimiz bir nesne vardır ve bu durumda da hareketin hem yönünü hem de hızını tam olarak belirleyebiliriz; bağıllık kaybolur. Yine de etrafta bundan rahatsızlık duymayacak kuramcılar var. Ted Jacobson bir arkadaşımdır; kuantum mekaniği ve ilmek kuantum kütleçekim üzerine bir makale yazmıştık: Merkezi önemi olan Wheeler-DeWitt denkleminin ilk tam çözümlerini bulmuştuk.[5] Ama ilmek kuantum kütleçekim ilerlemeye başla-

---

[5] T. Jacobson ve L. Smolin, "Nonperturbative Quantum Geometries," *Nucl. Phys. B*299, 295-345 (1988).

yınca, Jacobson kötümserleşti. İlmek kuantum kütleçekimin yeterince derine indiğine ve işleyeceğine inanmıyordu. Düşünüp taşındıktan sonra, görelilik ilkesini sorgulamaya ve mutlak durağanlığın olasılığına inanmaya başladı. Bu fikrini geliştirmek için yıllarını verdi. 13 ve 14. Bölümde bahsettiğim gibi eğer özel görelilik kuramı yanlışsa, deneyler yakında bir işaret verebilecek durumdadır. Maryland Üniversitesinde çalışan Jacobson ve öğrencileri özel göreliliği sınayabilecek bir deney tasarımında önderlerin arasındadırlar.

Özel göreliliğin tüm yapısını sorgulayan bir başka fizikçi de kozmolog Joao Magueijo (*Bkz.* 14. Bölüm). Başka bir seçeneği yoktu çünkü aklına özel görelilikle çelişen bir fikir –ışığın hızının evrenin ilk zamanlarında çok daha fazla olması olasılığı– gelmişti ve o da deyim yerindeyse buna hayran olmuştu. Bu konuda yazdığı makalelerin tutarlılığı azdı; hatta özel görelilikten vazgeçilmesi ya da en azından değiştirilmesi gerektiği kabulünü yapmayan biri için kesinlikle anlamsızlardı.

Bir de katı hal fiziğinin çılgınları var. Bunlar gerçek dünyadaki gerçek nesnelerin davranışlarını açıklayarak başarılı kariyerlere imza atmışlardı. 1998 yılında "kesirli yüklere sahip nesneler içeren yeni bir kuantum sıvısının keşfedilmesine" katkıları sayesinde Nobel ödülü almış Robert Laughlin'den, Moskova'daki Landau Teorik Fizik Enstitüsünde çalışan ve çok soğuk sıvı helyumun özelliklerini açıklamış Grigori Volovik'ten ve Xiao-Gang Wen'den bahsediyorum. Bu insanlar hem kâhinler hem de uzman zanaatkârlar. Geçtiğimiz birkaç on yıl süresindeki normal bilim üretiminin en iyi ve belki de en önemli örneklerini verdikten sonra, şanslarını kuantum kütleçekimin zor sorularında denemeye karar verdiler. Özel göreliliğin yanlış ya da en azından yaklaşık olarak doğru, bir tür beliren olgu olduğu savıyla işe başladılar. Parçacık fizikçisi James Bjorken'de hem kâhin hem de uzman zanaatkârdır. Protonların ve nötronların kuarklar içerdiğini biliyorsak, bunun büyük kısmı onun içgörüleri sayesindedir.

Büyük kâhinlerden biri olarak, Niels Bohr Enstitüsünden, Holger Bech Nielsen'i de sayabiliriz. Sicim kuramını icat eden-

lerden biriydi ve diğer birçok önemli buluşa da imza attı. Ama yıllardır, *rastgele dinamikler* adını verdiği bir kavramı geliştirmek için ana akım araştırmalardan izole olmuş durumda. İnanıyor ki temel yasalar hakkında yapabileceğimiz en faydalı varsayım onların rastgele olduklarıdır. Ona göre özel görelilik ve kuantum mekaniği gibi doğruluklarının içsel olduğuna inandığımız her şey temel bir kuramdan kazaen beliren olgulardır. Bu kuram algımıza o kadar uzaktır yasaların rastgele olduğunu kabul etmekle pek bir kayıp yaşamayız. Bu fikrini termodinamik yasalarına bağlıyor. Bu yasalar da en başlarda temel ilkelere bağlıydı ama artık onları son derece fazla sayıdaki atomun rastgele hareketinin en olası sonuçları olarak görüyoruz. Haklı olabilir de olmayabilir de, ama Nielsen bu birleştirme karşıtı fikirleriyle hissedilir seviye yol aldı.

Bu bahsini ettiğimiz insanlar bilime son derece önemli katkılar yaptılar. Sicim kuramcıları arasında bunlara benzer çok az insan var. Peki, bu başarılı fizikçilerin belki yanlış bir kabul yapıyor olduğumuz üzerine yaptıkları inatçı uyarılar karşısında bir sicim kuramcısı –ya da bir ilmek kuramcısı– ne yapıyor? Onları dinlemiyoruz. Evet, açık ve net. Gerçeği söylemek gerekirse, arkalarından gülüyoruz, hatta bazen odadan çıktıklarından hemen sonra. Anlaşılan, genel kabul görmüş özel ya da genel görelilik kuramları gibi fikirleri sorgularsanız, Nobel ödülü seviyesinde fizik yapmış, hatta o ödülü almış olmanız bile sizi korumuyor. Laughlin bana, normal bilime dönmesi ve uzay, zaman ve kütleçekim hakkındaki yeni fikirleri üzerinde zaman harcamayı terk etmesi için kendi bölümünden ve destek sağlayan kurumdan baskı gördüğünü söylediğinde şok olmuştum. Eğer böyle bir insana, Nobel ödülü dahil olmak üzere bütün başarılarına rağmen, kendi fikirlerini izlemesi konusunda güven duyulmuyorsa, akademik özgürlük ne demektir?

Fizik adına, özel göreliliğin doğru olup olmadığını yakında öğreneceğiz. Birçok arkadaşım deney sonuçlarının bu büyük insanların birer ahmak olduklarını ispatlayacağına inanıyor. Put kıranların yanlış çıkmasını ve özel göreliliğin sınavı başarıyla atlatmasını umuyorum. Ama yine de belki bizim yanılıyor olma-

mızdan, onlarınsa haklı çıkmasından duyduğum korkuyu savamıyorum.

Özel görelilik hakkında bu kadar yeter. Ya kuantum kuramı yanlışsa? Kuantum kütleçekim araştırma projesinin yumuşak karnı tam da bu. Eğer kuantum kuramı yanlışsa, o zaman kütleçekimi kuantumla birleştirmeye çalışmak devasa bir zaman kaybı olacak. Böyle olduğuna inanan var mı?

Evet var ve o Gerard 't Hooft. Utrecth Üniversitesinde lisansüstü öğrencisiyken 't Hooft, daha kıdemli bir meslektaşıyla beraber, kuantum Yang-Mills kuramlarının önemli olduğunu keşfetmişti. Bu keşif standart modeli mümkün kılmış ve nihayetinde de ona hak edilmiş bir Nobel Ödülü kazandırmıştır. Bu aslında standart model hakkında yaptığı keşiflerden sadece biri. Buna rağmen 't Hooft, son on yıl boyunca temel sorunlar üzerine çalışan en cesur düşünürlerden biri oldu. Temel fikri *holografik ilke* olarak adlandırılıyor. Bu ilkeye göre uzay yoktur. Uzay olduğunu düşündüğümüz bölgede olan her şey aslında onu çevreleyen yüzeyde gerçekleşmektedir. Dahası bu yüzeyde olanları tanımlayan şey kuantum kuramı değildir ve 't Hooft'a göre burada belirlenimci bir kuram yer alacaktır.

't Hooft bu ilkeyi öne sürmeden hemen önce, benzer bir fikri kuantum kütleçekim sorununa ardalandan bağımsız yaklaşımlar çerçevesinde Louis Crane ortaya atmıştı. Kuantum kuramını evrene uygulamanın yolunun tüm evreni bir kuantum haline koymaktan geçmediğini iddia ediyordu. Bu yaklaşım Stephen Hawking, James Hartle ve diğerleri tarafından çalışılmış ve büyük sorunlara gebe olduğu anlaşılmıştı. Bunun yerine Crane kuantum mekaniğinin bir sistemin durağan bir ifadesi olmayıp aslında evrenin bir alt sisteminin diğer bir alt sistem hakkında etkileşmeler aracılığıyla elde edebileceği bilginin kuramı olduğunu öneriyordu. Bunun devamı olarak evreni ikiye bölmenin her yolu için bir kuantum mekaniksel tanımlama olduğunu iddia ediyordu. Kuantum halleri bu sistemlerin ikisinde de değil onları ayıran sınırda yaşıyorlardı.[6]

---

6 Örnek olarak, L. Crane, "Clock and Category: Is Quantum Gravity Algebraic?" gr-qc/9504038; J. Math. Phys., 36:6180-193, (1995).

Crane'in köktenci fikri, *ilişkisel kuantum kuramları* olarak adlandırılan bir sınıf yaklaşıma yol açtı; çünkü bunlara göre kuantum kuramı evrenin iki alt sisteminin ilişkilerinin bir ifadesiydi. Carlo Rovelli bu fikri geliştirdi ve alıştığımız kuantum kuramıyla mükemmel bir uyum içinde olduğunu gösterdi. Kuantum kütleçekim kuramı hakkındaysa, Fotini Markopoulou ve arkadaşlarının geliştirdiği yeni bir kuantum kozmoloji kuramına olanak verdi. Markopoulou iki alt sistemin birbirleriyle bilgi değiş tokuşunu tanımlamanın hangi sistemin hangisini etkileyebileceğine sınırlar getiren nedensellik yapısını ifade etmekle aynı olduğuna parmak basıyordu. Bunun sonunda da evrenin, dinamik olarak oluşan bir mantık yapısına sahip bir kuantum bilgisayar olduğunu buldu.[7] Evrenin bir tür kuantum bilgisayar olabileceği fikri kuantum bilgiişlem alanının ileri görüşlülerinden olup MIT'de çalışan Seth Lloyd tarafından da önerilmişti.[8] Evrenin iki farklı disiplinin bakış açılarıyla, Markopoulou ve Lloyd evreni kavramsallaştırmak için kuantum bilgi kuramının fikirlerini kullanan ve temel parçacıkların kuantum uzayzamandan nasıl belireceklerini anlamamıza yarayan bir akıma önderlik ediyorlardı.

Gerard 't Hooft'un dünyanın sınırları tarafından tanımlaması üzerine olan fikri size Maldacena savını hatırlatmalı. Gerçekten de, 't Hooft'un fikirleri kısmen Juan Maldacena için esin kaynağı olmuştu ve bazıları holografik ilkenin sicim kuramının temel ilkelerinden birine dönüşeceğini düşünüyor. Eğer böyle bir şeye eğilimi olsaydı, sadece bu bile 't Hooft'u sicim camiasını liderlerinden birine dönüştürebilirdi. Ama daha 1980'lerde, 't Hooft kendi yolunda ilerlemeye başlamıştı bile; tam da mesleğinin zirvesinde ve kimse ondan teknik olarak daha güçlü değilken. Yine de ana akımdan ayrıldığı anda parçacık fizikçileri tarafından alaya alınmıştı. Pek ilgilenmiyor ve hatta fark

7 Örnek olarak bakınız: F. Markopoulou, "An insider's guide to quantum causal histories", hep-th/9912137; *Nucl. Phys. B, Proc. Supp.*, 88(1), 308-13,2000.

8 Seth Lloyd, *Programming the universe: A Quantum Computer Scientist's Takes On the Cosmos* (New York: Alfred A. Knopf, 2006.

etmemiş duruyordu ama eminin bu durum canını sıkmıştı. Neyse, her şeyden şüphe ederek temel fizikte kendi yolunu açtı. On yıllar boyunca geliştirdiği inancının temeli kuantum kuramının yanlış olduğudur.

't Hooft'dan daha samimi, içten biri yoktur. Kuantum kütleçekim alanında çalışan bizlerin onun hakkında en takdir ettiğimiz özelliği hep ortalarda olmasıdır. Birçok toplantımıza gelir ve onu koridorlarda diğer önemli katılımcılarla politika yaparken hiç görmezsiniz. Aksine, sadece genç öğrencilerin yapacağı gibi her konuşmayı dinler. Her sabah ilk olarak, üç parçalı takım elbisesini giymiş olarak (genel olarak biz diğerleri kot pantolonlar ve tişörtler giyeriz) gelir, ön sıraya oturur ve her öğrencinin ve doktora sonrası araştırmacının konuşmasını dinler. Her zaman bir yorumda bulunmayabilir ve hatta bazen bir iki dakika içinin geçtiği de olur ama orda olarak her meslektaşına gösterdiği saygı etkileyicidir. Kendi konuşma sırası geldiğinde, kalkar ve gösterişe hiç her vermeden fikirlerini ve sonuçlarını anlatır. Yalnız bir yolda olduğunun kesin bilincinde ve buna içerliyorsa hiç şaşırmam. Çok hak etmesine rağmen biri nasıl olur da liderlik cüppesini kuantum mekaniğine bir türlü anlam verememesi yüzünden bırakıverir? Bu durumum, insanın karakteri hakkında neler ima ettiğini bir düşünün.

Bir de Roger Penrose var. Basitçe ifade edersek, Einstein dışında kimse genel görelilik kuramı algımıza ve kullanışımıza ondan daha fazla katkıda bulunmamıştır. Bu alanda tanıdığım en yetenekli ve derin düşünen dört ya da beş kişiden biri. Çok iyi fizik ve matematik yapmıştır. 't Hooft gibi, son yirmi yılda yaptığı çalışmaların büyük kısmı kuantum mekaniğinin yanlış olduğu fikrine dayanır. Tıpkı 't Hooft gibi kuantum mekaniğinin yerine neyin geçeceği hakkında kendi fikrine de sahiptir.

Penrose yıllardır, kütleçekimi kuantum kuramına eklemlendirmenin kuantum kuramını doğrusal olmaktan çıkardığını söylüyordu. Bu gözlem sorununa bir çözüm getirmektedir: Kuantum kütleçekim etkileri dinamik olarak kuantum durumunun çökmesini sağlıyor. Penrose'un önerileri kitaplarında iyice ifade edilmiş durumda, ama henüz kapsamlı bir kurama uygulanma-

dılar. Yine de o ve diğerleri bu önerileri kullanarak yapılabilir deneyler üzerinden öngörülerde bulunabildiler. Bu deneylerden bazıları geliştirme aşamasındadır.

Penrose'un fikirlerini pek azımız ciddiye alıyoruz; geçerli olduklarını düşünenlerse daha da az. Ama sicim kuramcılarının çoğunun –ve kesinlikle bütün ana akım sicim kuramcılarının– ilgi duyduğuna dair hiç işaret yok. İleri görüşlü insanların en saygı duyulanları dahi temel kabulleri sorgulamaya başladıklarında ciddiye alınmıyorsa, henüz bilime önemli bir katkı yapmamış ama ileri görüşlü insanların durumunu hayal edebilirsiniz.[9]

Eğer en iyi kuramsal fizikçilerden çoğu göreliliğin ve kuantum kuramının temel kabullerini sorguluyorsa, bu konuma daha en baştan gelmiş başkaları olmalı. Gerçekten de, eğitimlerinin başlarında kuantum kuramının yanlış olması gerektiğini düşünen insanlar var. Kuramı öğrendiler ve bu çerçevede hesap yapmayı ve fikir yürütmeyi herkes kadar becerebilirler. Ama kurama inanmazlar. Bunlara ne olur?

Bu tür insanlar iki gruba ayrılıyor: Samimi olanlar ve samimi olmayanlar. Ben de kuantum kuramına inanmanın bir yolunu bulamamış olanlardanım, ama ben samimi olmayanların içindeyim. Yani öğrenimimin başlarında fark ettim ki eğer kuantum mekaniğine anlam katmaya çalışırsam akademik bir kariyeri unutmam gerekir. Böylece ana akım bilimin anlayacağı ve takdir edeceği işler yaptım ki normal bir kariyerim olabilsin.

Şansıma, kuantum kütleçekim üzerine çalışarak, temeller üzerindeki bu kaygılarımı araştırmanın yollarını bulabildim. Kuantum kuramına inanmadığım için bu çabanın başarısızlıkla sonuçlanacağından neredeyse emindim, ama bu çabaların bir şekilde kuantum kuramı yerine ne tür bir fikrin geçeceği hakkında ipuçları vereceğini de umuyordum. Birkaç sene öncesinde kuantum kütleçekim üzerinde çalışarak kariyer kurmam, kuantum kuramının yanlışlığı üzerinde durarak iş sahibi olmam

---

9 Burada eğitimli ve doktora derecelerinde ilerlemiş insanlardan bahsettiğimi tekrar ifade etmeliyim. Bu bilimi anlamayanlar ya da çatlaklarla ilgili bir tartışma değil.

kadar az olasılığa sahipti. Ama henüz bir lisansüstü öğrencisiyken kolay bir fırsat önüme çıktı: Standart modeli çalışmak için geliştirilen metotları kuantum kütleçekim sorununa uygulamak. Böylece normal bir bilimci olarak davranabilir ve parçacık fizikçisi olarak eğitimime devam edebilirdim. Bundan sonra öğrendiklerimi alıp kuantum kütleçekime uyguladım. Bunu uygulayanlar arasında ilk sıralarda olduğumdan ve ana akım bilimin anladığı araçlar kullandığımdan bu şekilde, çok şaşaalı olmasa da, iyi bir kariyer imkânı buldum.

Ama konunun temellerini irdelemek hakkındaki içgüdülerimi hiçbir zaman tam olarak bastıramadım. 1982 yılında, "Kuantum ve Termal oynamalarda arasındaki ilişki üzerine" başlıklı bir makale yazdım.[10] Geriye dönüp baktığımda bu cesarete şaşıyorum. Şu anda, birçok iyi makale yazdıktan sonra bile en iyi işimin o makale olduğunu düşünüyorum. Arada sırada, konunun temelleri üzerine geriye yönelik okumalar yapan bir öğrenciye ya da on yıllardır kenarda köşede kalmış yalnız çalışan birine rastlıyorum ve diyorlar ki, "Oh! Siz o Smolin'siniz. Hiç bağlantı yapmamıştım. Onun öldüğünü ya da fiziği bıraktığını düşünüyordum." Sonunda, nihayet, Perimeter Enstitüsündeki meslektaşlarımla kuantum mekaniğinin temelleri üzerine tekrar çalışmaya dönüyorum.

Peki, görelilik ve kuantum kuramı gibi temel kabullere inanmayan, ama eğilimlerini dizgin altına alacak kadar eğilebilecek karakterde olmayan, samimi insanlara hakkında ne diyebiliriz? Onlar özel bir türdür ve her birinin kendine has bir öyküsü vardır.

Julian Barbour, bilimi izleyenler tarafından bilinen *Zamanın Sonu* adlı kitabın yazarıdır.[11] Orada zamanın bir illüzyon olduğunu iddia ediyordu. Sıra dışı bir fizikçidir: Doktorasını 1986 yılında Köln Üniversitesinde bitirmesinden beri hiçbir

---

10 L. Smolin, "On the nature of quantum fluctuations and their relation to gravitation and the principle of inertia", Class. Quant. Grav. 3:347-59, 1986.

11 Julian Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics*, New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2001.

akademik işte çalışmamıştır. Ama kuantum kütleçekim üzerinde ciddi olarak düşünen küçük bir grup üzerinde çok etkisi olmuştur, çünkü ardalandan bağımsız bir kuram yapmanın ne olduğunu bize öğreten odur.

Barbour'un aktardığı üzere, lisansüstü eğitimi sırasında gittikleri bir dağ gezisinde, zamanın bir illüzyon olduğuna dair bir içgörü yaşamış. Bunun üzerine de, genel görelilik kuramı çerçevesinde yer aldığı haliyle, zaman algımızın köklerini araştırmaya başlamış. O da zamanın doğası hakkında kaygılara kapılarak akademik bir kariyere sahip olamayacağını anlamış. Aynı zamanda, eğer bir konu üzerinde çalışacaksa, normal bir fizik kariyerinin getireceği işlerle zaman kaybetmeden, tam olarak yoğunlaşması gerektiğini de fark etmiş. Böylece Oxford'a bir saat uzaklıktaki bir köyde eski bir çiftlik evi almış, karısını da getirip, oturup zaman üzerine düşünmeye başlamış. Meslektaşlarına söyleyecek bir şey bulması on yıl kadar almış. Bu zaman zarfında, dört çocukları olmuş ve gelir için karısıyla beraber yarı zamanlı çevirmen olarak çalışmış. Çeviri işi hafta da yirmi saatten fazla almıyormuş ve herhangi bir akademik işten artan zaman kadar da boş vakti oluyormuş.

Genel görelilikte zamanın yerini anlamak için, Barbour konu üzerinde derin okumalar yapmış, fizik tarihine ve felsefeye de yönelmiş. Sonunda, uzayın ve zamanın sadece bir ilişkiler sistemi olduğu yeni bir kuram icat etmiş. Makaleleri yavaşça fark edilmeye başlandı ve sonunda kuantum kütleçekim camiasının saygın bir üyesi oldu. Einstein'ın genel görelilik kuramını ilişkisel bir kuram olarak ifade etmesi artık kabul görmüştür.

Barbour'un tüm yaptıkları yanında bu çok fazla değil, ama bir başarılı bir kâhinin kariyerinin konvansiyonel bir akademik bilimcininkinden nasıl değişik olduğunu göstermeye yetiyor. Böyle bir insan modayı izlemez; hatta, belirli bir konuyu neyin moda olduğunu bilecek kadar da izlemez. Bu tür insanlar, diğer herkesin önemli bir şeyi kaçırdığına dair, çok erken edinilmiş bir inançla hareket ederler. Yaklaşımları çok daha skolastiktir; ilgilendikleri konunun tüm tarihini okurlar. Son derece yoğunlaşarak çalışırlar ama bir sonuca ulaşmaları da uzun zaman

alır. Akademik bir kariyer için yetecek hiç üretim yoktur. Zamanı geldiğinde, Julian Barbour, fiziği birçok akademik bilimciden daha fazla değiştirdi. Ama akademik fizikçilerin çoğunun sabit bir işe sahip oldukları yaşta onun yaptığı bu değişiklik karşılığında ortaya koyacak hiçbir şeyi yoktu.

Barbour'un hayatı diğer bilim kâhinlerininkine benziyor, İngiliz taşrasına inzivaya çekilip bir odada bir fikir üzerinde saplantılı bir şekilde çalışan Charles Darwin gibi. Einstein özel görelilik kuramını oluşturacak fikirler üzerine on yıl düşündü ve sonraki on yılını da genel göreliliği geliştirmek için harcadı. Zaman ve düşünce özgürlüğü o gözden kaçan faraziyeyi keşfetmek için bu kâhinlerin ihtiyaç duyduğu tek şey. Gerisini kendileri getiriyor.

Böyle başka biri de, Georgia Teknoloji Enstitüsünde Emeritus Profesör olan David Finkelstein'dır. Hayatının tamamını doğanın mantığını arayarak geçirdi. Diğer herkesten farklı fizik yapar. İlk karşılaşmamızda bana söylediği gibi hayatı "Tanrı dünyayı yaratırken neler düşünmüş olmalı" sorusunun cevabını arama çabası üzerine bir maceraydı. Bundan başka hiçbir şey yapmadı ve her karşılaşmamızda yeni fikirleri olduğunu gördüm. Bu yolda bazı yan keşiflerde de bulundu. Bir kara deliğin olay ufkunun ne olduğunu ilk anlayan insandı.[12] Katı hal fiziğinde önemli yer tutan ve topolojik korunum yasaları olarak adlandırılan özellikleri ilk olarak o buldu. Ve bazı matematiksel yapılar –örneğin kuantum grupları– üzerine ilk çalışan da oydu. Hayatı, bir bilim kâhininin gerçeği bulmak için kendi yolunda giderken ne tür katkılar yapabileceğine bir örnek oluşturur. Finkelstein akademik bir görev bulabilmişti ama bu günlerde onun gibi biri –sadece kendi iç sesini dinleyen ve diğer hiçbir şeye kulak asmayan biri– önemli bir üniversitede iş bulabilir mi? Hayal!

İşte başka bir hikâye, bu Barbour'unkine biraz daha benziyor. Antony Valentini, Barbour gibi mesleğine Cambridge Üni-

[12] David Finkelstein, "Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle", *Phys. Rev.* 110: 965-67, 1958.

versitesinden bir dereceyle başladı. Biraz Avrupa'da gezindikten sonra Denis Sciama'yla çalışmak üzere Trieste'ye yerleşti. Sciama, Cambdridge'te sonradan önemli kozmolog ve genel görelilik uzmanları olan Stephen Hawking, Roger Penrose, Martin Rees, George Ellis gibilerinin hocasıydı. Kariyerinin devamında, Sciama Trieste'ye yerleşmiş ve bir İtalyan Enstitüsü olan SISSA'da –Scuola Internationale Superioredi Studi Avanti– bir astrofizik grubu kurmuştu. Valentini Sciama'nın son öğrencilerindendi, ama astrofizik üzerine çalışmıyordu; onun yerine, kuantum kuramı üzerine çalıştı. Kuramın hiç anlam ifade etmediği üzerine bir içgörüsü vardı. İlk olarak 1920 yılında Louis de Broglie'nin ortaya attığı *gizli değişkenler kuramı* üzerine yoğunlaştı. Bu kuramlara göre kuantum kuramının arkasında gizli duran tek bir gerçeklik vardır. Einstein, Schrödinger ve diğerlerinin desteğine rağmen bu kuramlar on yıllar boyunca baskı altındaydı. Bu durumun kısmi bir sebebi 1932 yılında bu tür kuramların olamayacağına dair John von Neumann tarafından yapılmış yanlış bir ispattı. İspatın hatası nihayet 1950'li yıllarda kuantum kuramcısı David Bohm tarafından bulundu ve o de Broglie'nin kuramını canlandırdı. Valentini, bu kuramlara on yıllar boyunca yapılmış ilk gelişmeyi gerçekleştirdi. Bu konuda yazdığı makalelerin çoğu dergiler tarafından reddedilmiş olsa da içerikleri şu anda kuantum kuramının temelleri üzerine çalışan uzmanlar tarafından genel kabul görüyor.

Sciama, Valentini'yi cesaretlendirmek için elinden geleni yaptı, ama ne İtalya'da ne de İngilizce konuşulan ülkelerde temel konular üzerine yoğunlaşmış biri için iş yoktu. Sciama ona eğer gittikçe gelişen sonuçlarını ve düşüncelerini makale olarak kabul ettiremiyorsa onlar üzerine bir kitap yazmasını önerdi. Bir pozisyon bulamamış olan Valentini Roma'ya yerleşti ve nihayetinde Roma Üniversitesinde bir doktora sonrası araştırmacı oldu. Bunun süresi bittiğinde şehri ve içindeki insanları sevdiği için Roma'da altı yıl daha kaldı. Bu süre zarfında özel dersler vererek gelir elde etti ve kitabı üzerine çalıştı.[13] Birçok

---

[13] Antony Valentini, *Pilot Wave Theory of Physics and Cosmology* (Cambridge, U.K.: Cambridge Üniversitesi Yayınları; basım aşamasında).

uzman fizikçi özel konuşmalarda kuantum mekaniği üzerine endişeler dile getirse de, toplum karşısında kuramın sorunlarının 1920'lerde çözüldüğünü söylerler. Kuramın temelleri üzerine yapılmış araştırmaların skolastik bir incelemesi yoktur, ama ben en azından 1950'lerden beri önde gelen dergilerin bu konuda son derece ince eleyip sık dokuyarak yayın kabul ettiklerini ve diğer birçok derginin de bu konudaki makaleleri politika gereği dışladıklarını biliyorum. Parasal fon ajansları ve hükümet kurumları genel olarak bu tür çalışmaları desteklemediler ve üniversiteler bu konuda çalışanlara genel olarak iş vermediler.[14]

Bu inatçı tutum kısmen 1940'ların başında devrimci bilimden normal bilime geçilmesi yüzünden oluştu. Politik bir devrimde olduğu gibi, devrimin kazançlarını konsolide etmesi için asilerin baskılanması gerekiyordu. En başlarda kuantum kuramı üzerine birbirleriyle yarışan birçok yorum mevcuttu. 1940'lara gelindiğinde bunlardan sadece birisi zaferini ilan etti. Niels Bohr'un liderliğinde gerçekleşen bu yoruma Kopenhag yorumu adı verildi. Tartışmayı sona erdirmede Bohr ve onu izleyenlerin rolü oldu ve eğer akademik politikanın çarklarını kendi avantajlarına kullanmışlarsa buna da şaşırmam; atomik silahların keşfinde oynadıkları rol sayesinde istedikleri başarıya ulaşmak için doğru konumlarda bulunuyorlardı. Ama ideolojiye prim vermeyen ve sadece normal bilim yapış tarzına geri dönmek isteyenlerin dahi bu konudaki tartışmanın sonlanmasında çıkarları vardı.

---

[14] Aşağıda Notre Dame Üniversitesi fizikçisi James Cushing'in kuantum kuramının temelleri üzerine bir araştırmasına destek vermeyi reddeden Ulusal Bilim Kurumunun cevap mektubundan bir parçayı iletiyorum:

Kuantum kuramının birbirlerine karşıt Kopenhag ve nedensel (Bohm) yorumları yıllardır tartışılmıştır ve Ulusal Bilim Kurumunun birçok üyesinin gözünde bu durumda karara varılmıştır. Nedensel yorum Bell eşitsizliklerini sınayan deneylerle uyumsuzluk içindedir. Bu yüzden bu konuda bir araştırma programını desteklemek akılcı değildir.

Bu mektupta dikkati çeken şey temel bir hata içermesidir: O zamanlar uzmanlar tarafından çok iyi biliniyordu ki nedensel yorum Bell eşitsizlikleriyle tamamen uyum içindedir. Öte yandan Cushing ilgisini kuantum kuramının temellerine çevirmeden önce başarılı bir temel parçacık fizikçisiydi ama bu Ulusal Bilim Kurumunun ona yardım etmesini sağlamadı.

Kuantum kuramı, deneysel ve pratik düzlemlerde son derece büyük bir başarıydı ve bu konuda ilerleme kaydetmek isteyenler kuramın formüle edilişindeki derin sorunların varlığı üzerinde kuşkulanmaya devam edenler tarafından rahatsız edilmek istemiyorlardı. Yola devam etme zamanı gelmişti.

Devamlılık gösteren kuşkucuların önünde az seçenek vardı. Bazıları kendilerini felsefeci olarak tekrar yarattılar ve felsefe dergilerinde uzun ve derinlikli makaleler yazdılar. En azından tartışmayı canlı tutan küçük bir alt kültür oluşturdular. Matematiksel yetenekleri olanlarsa matematik bölümlerinde işler buldular ve kuantum mekaniğinin kabul edilmiş yorumuna alternatifler getiren formel ve sıkı çalışmalar yayımladılar. Diğerleri –konunun en iyi uzmanlarından bazıları– araştırma programlarının parasal yardım bulma şartının gerekmediği küçük üniversitelerde işler buldular. Diğer az sayıda insansa fiziğin diğer alanlarına eğildiler ve kuantum mekaniği üzerine çalışmayı bir hobi olarak sürdürdüler.

Bu hobicilerden birisi John Stewart Bell'dir. Gizli değişken kuramları üzerine önemli bir teoremi 1960'ların başında bulmuştur. Kariyerini parçacık fiziği üzerine yaptığı nitelikli çalışmalarıyla kurmuş olmasına rağmen, şimdi, ölümünden birkaç yıl sonra, en önemli çalışmasının kuantum kuramına yaptığı bu katkı olduğu açıktır. Bazen Bell'in şöyle söylediği iddia edilir: Normal fizik yapıp zamanımızın sadece yüzde onunu kuantum kuramının temelleri üzerine düşünmeye ayırmalıyız. Bundan bahsedildiğinde, Perimeter Enstitüsünden Lucien Hardy de eğer Bell o temellere daha fazla eğilmiş olsaydı kim bilir ne kadar daha katkı yapmış olabileceğini söyler; bu durumda da hiç iş bulamamış olacağını da unutmayalım.

Bu süre zarfında kuantum mekaniğinin temellerinde çok az ilerleme kaydedilmiş olması pek de şaşırtıcı değil. Nasıl başka türlü olabilirdi ki? Tabii ki bu durum aynı zamanda, ilerleme gösterebilen az sayıdaki insana iş vermemek için yeterli mazeret olarak da kullanılıyordu.

Şimdi kuşkucuların ne kadar yanılmış olduklarını biliyoruz. Yirmi yıl kadar önce, Richard Feynman ve birkaç diğer araş-

tırmacı kuantum olgularını merkezi olarak kullanan yeni bir tür bilgisayar yapılabileceğini fark etmişti. Konu, şimdilerde Oxford'daki Kuantum Hesaplama Merkezinde bulunan David Deutsch'un 1985 yılında ayrıntılı bir öneri yapmasına kadar çok fazla araştırılmamıştı.[15] Deutsch kadar temelci düşünen biri yoktur; kuantum bilgisayarlarını keşfetmesinde hem matematiğin hem de kuantum kuramının temelleri üzerine duyduğu rahatsızlık rol oynamıştır. Ne kadar yaratıcı ve parlak bir düşünür olduğu, çoklu-evren kuramlarını geliştirdiği kışkırtıcı kitabı *Gerçekliğin Dokusu*'nda görülebilir.[16] Yazdıklarının birçoğuna katılmasam da çok beğenmiştim.

Şu anda MIT'de olan Peter Shor, 1994 yılında Bell Laboratuvarlarında bilgisayar bilimcisiydi ve önemi bir keşifte bulunmuştu; yeteri kadar büyük bir kuantum bilgisayarı var olan her şifreyi kırabilirdi.[17] O zamandan beri para kuantum hesaplama alanına bir sel gibi akıyor çünkü hiçbir hükümet şifre kırma yarışında geride kalmak istemiyor. Bu para birçok genç ve yetenekli fizikçi, matematikçi ve bilgisayar bilimcisinden oluşan yeni bir nesli destekledi. Bunlar fiziği ve bilgisayar bilimini kaynaştıran ve önemli bir kısmı kuantum mekaniğinin temellerine dayanan yeni bir araştırma alanı yarattılar. Birden, yepyeni ve önemli bulgularıyla kuantum hesaplama çok revaçta olan bir alana dönüştü. Bulguların bazıları kuantum fiziğinin temelleriyle alakalıydı ve 1930 yıllarından bu zamana kadar her an keşfedilmiş olabilirdi. Burada bir alanın akademik politikalarla kısıtlanmasının ilerlemeyi on yıllar süresince durdurabilmesine bir örnek görüyoruz.

1999 yılında, Roma'da yedi yıl süren bir inzivadan sonra, Antony Valentini ebeveynlerinin evine Londra'ya taşındı. Ailesi, Abbruzzo aldı bir köyden iltica etmişti; küçük bir dükkanları vardı ve onu çalışması süresince desteklemeye hazırlardı. Onu o

---

15 D. Deutsch, *Proc. Roy. Soc. A*, 400:97-117, 1985.

16 D. Deutsch, *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes and Its Implications* (London: Penguin, 1997).

17 P.W. Shor, "Polynomial Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer", quant-ph/9502807.

yıl orada tanımıştım, Imperial College'da ziyaretçi profesördüm ve kuramsal çalışmalar grubunun başı Christopher Isham'la konuştuktan sonra onu bilime geri döndürmek için ona bir doktora sonrası araştırmacı konumu önerdik. Bunu yapmaya gücümüz yetti çünkü o sırada ben de kuantum mekaniğinin temelleri konusunda ilgili olan birinden beklenmedik ve hatırı sayılır bir destek bulmuştum. Bu alana önemli katkılar yapabileceğini ispatlamış birini işe almak parayı iyi yönde kullanmak olacaktı. Eğer sadece, Ulusal Bilim Kurumu tarafından destekleniyor olsaydım bunu yapamazdım. Kurum, kuantum kütleçekim üzerindeki araştırmalarıma o ana kadar iyi teşviklerde bulunmuş olmasına rağmen kuantum kuramının temelleri üzerine çalışan birini işe almam ilerdeki teşvik şanslarını azaltabilirdi.

Valentini, şu anda Perimeter'da bize katıldı. Gizli değişkenler kitabı üzerinde hâlâ çalışıyor ama aynı zamanda kuantum kuramının temelleri alanının önderlerinden biri oldu ve konu üzerindeki birçok konferansa davetli konuşmacı olarak çağrılıyor. Artık düzenli olarak makaleler yayımlıyor ve en son işlerinden biri kara deliklerin yakınlarında oluşan X dalgalarını ölçerek kuantum mekaniğini sınamak üzere cesur bir öneriyi içeriyor.[18] Artık Julian Barbour gibi, yıllar süren inzivası ona kendini istediği gibi geliştirmek için gerekli ortamı sağladı ve kuantum kuramı üzerine ondan daha içgörülü ve bilgili bir eleştirmen yok.

Barbour ve Valentini'nin alışıldık bir kariyer izlemeleri durumunda hiçbir buluş yapamamış olacaklarını hatırlayalım. Normal bir bilimcinin doçentlik ya da yardımcı doçentlik süresinde profesörlük elde edebilmek için yayın yapmak, tanınmak, araştırma teşvikleri ve davetler almak için çalıştıkları süreçte onlar hiçbir yayın yapmamışlardı. Ama yine de büyük ilerlemeler kaydediyorlardı. Gözden düşmüş tek bir konu üzerinde, bir yardımcı doçentin yapabileceğinden çok daha derin ve odaklanmış bir şekilde düşünebiliyorlardı. Kabaca on yıl sonra ortaya çıktıklarında ikisinin de özgün ve olgun görüşleri vardı ve bu

---

18 A. Valentini, "Extreme Test of Quantum Theory with Black Holes," astro-ph/041250s.

onların kısa zamanda konularında etkili olmalarını sağladı. Bu uzun ve yoğun çalışma ve düşünme sürecinden yeni ve önemli buluşlarla çıkabilmiş olmalarının sağladığı saygınlık bu konulara önem verenler arasında merkezi olmalarını sağladı.

Kâhinler için, kariyerlerinin başında ve çoğunlukla ilerleyen safhalarında, uzun süreli inziva ihtiyacı çok önemlidir. Bazıları, Alexander Grothendieck'in günümüzde hayatta olan en güçlü ve ileri görüşlü matematikçi olduğunu söyler. Hiç de alışılageldik bir kariyeri olmamıştır. En önemli ve etkili çalışmalarından bazıları yayımlanmamıştır ama yüzlerce sayfa uzunluğunda mektuplar şeklinde arkadaşlarına iletilmiş ve bunları okuyacak insanlar arasında dağıtılmıştır. Ebeveynleri politik baskı ve savaştan kaçmış sığınmacılardı ve bu yüzden o ikinci dünya savaşı sonrasında göçmen kamplarında büyümüştü. Paris'te matematik dünyasına bir anda belirivermişti. Kısa ama çok etkili bir kariyer sonrasında, kısmen matematik alanında askeri maddi fonların varlığına tepki olarak, 1970'li yıllarda bilimsel ortamdan çekilmişti. 1991 yılında tamamen ortadan kayboldu; nerde olduğu tam olarak bilinmese de, Pireneler'de münzevi hayatı yaşadığına dair dedikodular var. Açıkçası, bu sınırda bir durum. Ama onun adı geçtiğinde matematikçilerin yüzünde beliren hayranlık, hayret ve belki de biraz korku ifadesini görmeniz gerek. Bazı deneyimlerini aşağıdaki gibi anlatıyor:

> O kritik yıllarda nasıl yalnız olunacağını öğrenmiştim. Ama bu ifadeler bile tam olarak anlatmak istediğime yetmiyor. Kelimenin düz anlamıyla yalnız kalmayı öğrenmemiştim aslında, çünkü çocukluğum süresince bu melekeyi hiç kaybetmemiştim. Bu, hepimizde doğduğumuz andan beri var olan bir yetenektir. Ama yapayalnız çalıştığım ve sadece kendi kaynaklarımla yoğrulduğum, kendi kendime bulduğum yolları izlediğim, 1945-1948 yılları arasındaki o süreç bana, ortak fikir birliklerine ya da modaya hiçbir şekilde dayanmayacak şekilde matematik yapabileceğime dair gösterişsiz ama devamlı bir kendine güven duygusu aşıladı... Bunla şunu demek istiyorum: kendini otorite olarak tanımlayan bir kabilenin fikir birlikteliklerinin ya da yasaymış gibi kabul edilen moda eğilimlerinin, açıkça ya da gizlice empoze edilmiş kavramlarına yaslanarak değil, istediğim şeylere

kendi istediğim gibi yaklaşmak. Bu fikir birliktelikleri, bu sessiz uzlaşımlar hakkında, hem lise hem de üniversite öğrenimim sırasında anlamıştım ki insan örneğin "hacim" gibi aşikâr olan, genel kabul görmüş, sorunsuz kavramların anlamı üzerinde düşünerek zaman kaybetmemeli. Ama birisi, bunların "ötesine geçerek", bir uzlaşım piyonu olmak yerine kendinde biri olarak, diğerlerinin kendi etraflarına çizdikleri çemberin içinde hapsolmayı reddederek gerçek yaratıcılığı keşfedebilir. Diğer her şey bunun ardından doğal olarak gelir.
O zamandan beri, beni arasına kabul eden matematik dünyası içinde, hem "kıdemliler" hem de kendi yaşıtlarım olan gençler arasında benden çok daha parlak ve çok daha "yetenekli" insanlar tanıdım. Sanki beşikten beri buna alışıkmışçasına yepyeni fikirlerle rahatlıkla oynadıklarını gördüm. Öte yandan ben kendimi hantal, hatta semsem buluyorum; çetin bir yolda acılar içinde geziniyorum, aptal bir öküz gibi merkezi nüvelerini anlamadan ya da sonuca kadar götürmeden, öğrenmem gereken (bana söylendiği üzere) şeylerden oluşan şekilsiz bir dağa bakar gibiyim. Gerçekten de bende prestijli yarışları kazanan ya da ufacık bir çabayla en zor konulara hâkim olan parlak bir öğrenciyi tanımlayan özelliklerden pek azı vardı.
Kendimden daha parlak olduğuna hükmettiğim bu arkadaşlarımın çoğu, nihayetinde tanınan matematikçiler oldular. Yine de geçtiğimiz şu otuz, otuz beş yıla baktığımda matematiğe yaptıkları katkılar çok derin olmadı. Hepsi araştırmalar yaptılar, çoğu zaman harika araştırmalar; zaten önlerinde olan ve pek de kurcalamak istemedikleri bir yolda araştırmalar. Farkında olmadan, çağa bağlı olarak bazı çevreleri diğerlerinden dışlayan o görünmez ve despot camiaların tutsağı olmaya devam ettiler. Bu sınırları kırmak için benim için olduğu gibi doğumdan beri hakları olan yeteneği kendi içlerinde yeniden keşfetmeleri gerekiyordu: Yalnız kalabilme yeteneği.[19]

Genç Einstein'ın şu anda iş bulup bulamayacağını sormak bir klişedir. Cevap kesinlikle hayır olacaktır; o zaman bile iş bulamamıştı. Günümüzde çok daha profesyonelleştik ve artık işe alımlar dar bir alanda edinilmiş yüksek teknik becerileri olanlar arasındaki sert bir mücadele temel alınarak oluyor. Aynı şekilde bahsini ettiğimiz diğer insanların bazıları da bugün iş

[19] Alexander Grothendieck, *Récoltes et Semailles*, 1986, English translation by Roy Lisker, www.grothendieck-circle.org, 2. Bölüm.

bulamazlardı. Eğer bugün bu insanların katkılarından yararlanıyorsak, bunu onların cömertliğine ya da akademik dünyanın normalde bilimcilere sağladığı destek olmadan çalışmaya devam etmelerini sağlayan inatçılıklarına borçluyuz.

İlk bakışta durumu düzeltmek kolay gibi gözükebilir. Böyle insanlardan fazla yoktur ve onları fark etmek de zor değil. Bilimcilerin pek azı temel sorunlar üzerinde düşünür ve daha da azı bunlar hakkında fikirler geliştirmiştir. Calgary Üniversitesindeki Biokompleksite Enstitüsünün başkanı olan arkadaşım, Stuart Kauffman, bir keresinde bana cesur fikirleri olan insanları bulmanın zor olmadığını söylemişti; çoğunun zaten böyle birkaç fikri vardır. Lisansüstü eğitiminde ya da onu izleyen birkaç yıl içinde de bulamazlarsa muhtemelen hiç bu fikirlere sahip olmayacaklardır. O zaman, fikirleri olan kâhinlerle bu yolda düşünen ama henüz bir fikre erişmemiş olanları nasıl ayırabileceğiz? Bu da kolay. Sadece eski kâhinlere sormak gerek. Perimeter Enstitüsünde bu tür gençleri seçmekte pek zorlanmıyoruz.

Ama bu insanları bir kere bulduğumuzda onlara normal bilim yapanlar gibi davranamayız. Birçoğu, kimin daha zeki olduğuna ya da normal ana akım bilimin ortaya koyduğu problemleri kimin en çabuk çözebildiğiyle ilgilenmez. Ve eğer yarışmak zorunda kalırlarsa, mücadelenin keskinliğine bağlı olarak, yenilirler. Eğer birisiyle yarışıyorlarsa, onlarla eski kitaplar ve kimsenin okumadığı makaleler aracılığıyla konuşan bu bir önceki nesle ait kâhinlerdir. Onları harekete geçiren dış etkenler pek azdır; birçok bilimcinin görmezden gelmeyi tercih ettiği bilimin temel tutarsızlıkları ve sorunlarıyla ilgilidirler. Eğer onları beş on yıl izlerseniz, alışılageldik kriterler üzerinden hiç de iyi gözükmezler. Paniğe kapılmadan onları yalnız bırakmak gerekir. Nihayetinde, Barbour ve Valentini gibi, beklediğimize değer bir fikirle ortaya çıkacaklardır.

Bu tür insanlar pek çok olmadığı için, onlara akademide yer bulmak da zor olmamalıdır. Birçok kurumun bu insanları işe almakla memnun olacağını zannedebilirsiniz. Çünkü konuların temellerine inebilen ve iyi hatta çoğu zaman karizmatik hocalardır. Öğrencilere ilham vermede ateşli bir kâhinden iyisini bu-

lamazsınız. Çok yarışmacı olmadıklarından, gayet iyi danışman veya kılavuz olabilirler. Üniversitelerin de temel görevi öğretim değil midir?

Gerçekten de bir risk var. Bazıları hiçbir keşifte bulunmaz. Bilime ömür boyu yapılan gerçek katkıdan bahsediyorum. Ama yine de birçok akademik bilimci, kariyer kriterleri açısından başarılı olsalar da –araştırma fonları bulmak, sürüyle makale yayımlamak, birçok konferansa gitmek vesaire– katkıları sadece azar azar artar. Kuramsal fizikteki meslektaşlarımızdan en azından yarısı kalıcı ve tekil bir katkı yapamazlar. İyi bir kariyerle merkezi önemde bir kariyer arasında fark vardır. Eğer başka bir iş seçmiş olsalardı bilimde pek büyük bir değişiklik olmazdı. Kısacası risk iki yönlü.

Değişik doğadaki risklerin bedelini ve doğasını işadamları akademik yöneticilerden daha iyi anlıyor. Bu konuda samimi ve faydalı bir tartışma akademik biri yerine bir iş adamıyla daha kolay yapılır. Bir keresinde, kapitalist bir yatırımcıya firmasının ne kadar risk alacağına nasıl karar verdiğini sormuştum. Eğer parasal yardım yaptığı firmaların yüzde onundan fazlası para getiriyorsa yeteri kadar risk almamış olduğunu düşüneceğini söylemişti. Bu insanların anladığı ve hatta hayatlarında önemli bir yer tutan gerçek elle tutulur bir teknolojik ilerleme için yüzde doksan oranında bir başarısızlığın gerekmesi.

Risk konusunda Ulusal Bilim Kurumuyla samimi bir konuşmaya girebilmek isterdim. Çünkü yardım ettikleri, benim alan üzerindeki araştırmaların yüzde doksanının gerçek kriterle başarısız olduğuna eminim: Bu yardımlar eğer yardımı alan bilimci başka bir konuda çalışsaydı gerçekleşebilecek bir ilerlemenin önünü açıyorlar mı?

Her iş adamının bildiği gibi, az risk az getiri ve çok risk çok getiri stratejileri farklıdır. Çünkü başka amaçlara yöneliklerdir. Bir havayolu şirketi ya da otobüs firması ya da sabun üreten bir fabrikadan bahsedersek birinci stratejiyi seçeriz. Eğer yeni teknolojiler geliştirmek istersek ikinci yaklaşım olmadan başarılı olamayız.

Üniversite yöneticilerinin bu şekilde düşünmelerini sağlamak için neler vermezdim. İşe alma kriterlerini sanki sadece normal bilimciler varmış gibi ele alıyorlar. Oysa değişik yeteneklere sahip değişik karakterdeki bilimcileri işe alabilmek için bu kriterleri azıcık değiştirmek yeterli olurdu. Bilimde devrim mi istiyorsunuz? Teknolojik bir devrim istediklerinde işadamlarının yaptığını yapın: Kuralları azıcık değiştirin. Birkaç devrimci bilim insanını işe alın. Gençlere özgürlük ve görüş sağlayabilmek için hiyerarşik irtifayı azaltın. Az riskli azar azar ilerleyen bilim için yapılan devasa yatırımı dengelemek için yüksek riskli yüksek getirili insanlar için iş olanakları yaratın. Teknoloji şirketleri ve yatırım bankaları bu yaklaşımı uyguluyorlar. Neden aynısını akademi de denemeyelim? Bunun getirisi evrenin nasıl işlediğini bulmak olabilir.

19. BİLİM ASLINDA NASIL İŞLER?

Üniversitelerde bilimin nasıl yapıldığını değiştirme fikri kuşkusuz bazılarını heyecanlandıracak ve diğerlerini de dehşete düşürecektir. Ama böyle bir tehlike muhtemelen yok. Nedenini anlamak için akademik hayatın karanlık yönlerini incelememiz gerekir. Çünkü sosyologların bize söylediği gibi, olay sadece bilgelikle alakalı değil, güçle alakalıdır: Güç kimdedir ve nasıl kullanılır?

Araştırma üniversitelerinin değişimi engelleyen bazı özellikleri vardır. Bunlardan birincisi eş denetim mekanizmasıdır: Bilimciler hakkındaki kararları diğer bilimcilerin alması. Profesörlük kurumundaki gibi, eş denetimin de iyi bilim pratiğinin içinde yer almasının doğru, hatta merkezi olduğunu düşündüren özellikleri vardır. Ama öte yandan bunun bedelleri de vardır ve bunların farkına varmalıyız.

Ortalama bir insanın, bir akademisyenin diğer bir akademisyenin işe alınması hakkında karar vermek için ne kadar zaman harcadığı üzerine hiçbir fikri olmadığına eminim. Genel olarak haftada beş saatimi, diğer insanların kariyerlerini komitelerde tartışmak ya da böyle komitelerde okunmak üzere referans mektupları yazarak geçiriyorum. Bunu da hatırı sayılır bir süredir yapıyorum. Bir profesörün işinin önemli bir kısmı budur ve daha fazla zaman harcayanlar olduğunu da biliyorum. Kesin olan bir şey var: Eğer aşikâr bir sorumsuzluk örneği göstermeyip, öngörülemez biri olduğunuz kanısını yaratmadıysanız ne kadar uzun süre bilimci kalırsanız böyle komitelerde daha uzun zaman geçirirsiniz. Sadece, haklarında mektuplar yazacağınız, daha fazla öğrenciniz, doktora sonrası araştırmacınız ya da beraber çalıştığınız meslektaşlarınız olacağından bahsetmiyorum; diğer üniversitelerin ve enstitülerin işe alma kararlarında da etken olacağınızdan bahsediyorum.

Yönetici kadrosundakilerin bu sistemin bize ne kadara patladığını düşünen hiç oldu mu acaba? Bu sistem gerçekten gerekli mi? Buna daha az zaman harcayıp bilim yapmak için daha fazla zaman kullanamaz mıyız? Sistemin işleyişine azıcık katılmış olsam da göz korkutucu olduğunu biliyorum. Diğer kurumlardaki kıdemli bilimcilerden oluşan danışman komitelerin fikrini almadan hiçbir bölüm ya da enstitü –ne kadar istekli olursa olsun– işe insan alamaz. Aynı zamanda, araştırma fonlarını yöneten Amerika, Kanada ya da Avrupa merkezli kurumların dünya çapında düzenlediği paneller de vardır. Öte yandan, aday listelerini samimi şekilde gözden geçirmeniz için resmi olmayan sürüyle telefon da alırsınız. Belirli bir noktadan sonra, başarılı bir bilimci zamanının hepsini kimin nerede işe alındığının politikasına harcamaya başlar.

Buna, eş denetim diyoruz. Komik bir isim çünkü insanın nesnel ve haksızlığa meyal vermeden değerlendirileceği, kendisi gibilerden oluşan bir jüri çağrışımından çok farklı. Hukuk sisteminde, bir jüri üyesi eğer yanlıysa bunun cezası vardır ve bu çoğunlukla hapisle sonuçlanır.

Akademik dünyadaysa, bazı istisnalar dışında, sizi değerlendiren insanlar hem sizden daha kıdemli ve yaşlı hem de daha fazla güç sahibidir. Bu, okulda aldığınız ilk derslerden profesör olduğunuz da yaptığınız yardım başvurularına değin, hiyerarşik yapının tepesine kadar böyledir. Amacım, eş denetimin her kademesinde buna çaba harcayanları küçümsemek değil. Çoğu, işlerini samimi olarak yapar. Ama yine de sistemin büyük sorunları var ve bu fiziğin günümüzdeki durumuyla çok alakalı.

Eş denetimin, istenmeyen bir yan etkisi, kıdemli bilimcilerin gençlerin yönelimleri üzerinde etken olmasına yarayan bir mekanizmaya dönüşmesidir. Bu o kadar aşikâr ki, bu kadar az tartışmaya açılmasını hayretle karşılıyorum. Sistem öyle kurgulanmış ki, biz kıdemli bilimciler iyi kariyerlere sahip olanları ödüllendirip diğerleriniyse bilimsel camiadan kovarak cezalandırabiliriz. Eğer nesnel olmamız için açık standartlar ve belirli bir metot olsaydı bunda bir sorun olmazdı, ama en azından akademinin benim içinde bulunduğum alanında bu böyle değil.

Ayrıntılı olarak tartıştığımız gibi, kuramsal fiziğe katkı yapanlar farklı güçleri ve zayıflıkları olan bilimcilerden oluşur. Ama bu durum hakkındaki farkındalık pek az; biz genelde kimin "iyi" kimin "iyi değil" olduğundan bahsederiz; yani eş denetim bilimcilerin bir boyutta sıralanabileceği kabulünden hareket eder.

Yale'de yardımcı doçent olduğum 1984 yılında bölüme gelen tavsiye mektuplarını ilk defa okuduğumda ve gözlerime inanamamıştım. İyi bir mektup birçok bilgi verebilir ve bazen nüanslara da önem verir ama nihayetinde en çok önem son paragrafa veriliyordu. Burada başvuranı diğerleriyle kıyaslayarak "X kişisi, A, B ve C'den iyidir ama E, F, G ya da H kadar iyi değildir" gibi ifadelere yer veriliyordu. Şu ana kadar binlerce tavsiye mektubu okumuşumdur ve en azından yarısında buna benzer ifadeler yer alır. Kariyerimin ilk yıllarında kendimin A, B ya da C olduğum mektuplara da denk geldim. Hatırladığım kadarıyla X gerçekten de benden iyiydi ve gerçekten de bu X'lerin bazıları ilerlediler ve önemli çalışmalar yaptılar. Ama eğer bu sıralamaların nihai bilimsel verim için zayıf göstergeler olduğunu gösteren bir araştırma yayımlansa şaşırmazdım. Gerçekten de işe alımların sağlığı endişesi varsa böyle bir araştırma yapmak gerek. Kesin olarak söyleyebilirim ki, bu "iyilerin" işe alındıktan sonra pek verimli olmadığı hatta profesörlük rayına bile oturamadığı örnekler bulmak hiç de zor değil.

Bu pratiği daha da sorunlu hale getiren diğer bir etken de taraflı olmanın hiçbir bedelinin olmaması. Bir profesör hiç utanmadan, kendi öğrencileri, kendi araştırma programını izleyenler hatta kendi milletinden insanları yücelten mektuplar yazar. Bunun aşırı örneklerini fark ettiğimizde güleriz bile ama kimse bunu sıra dışı olarak algılamaz. Sistem böyledir.

Kıdemli bir bilimcinin ne tür bir genci önereceğine dair kural şudur: Genç olan kıdemliye benziyor mu? Eğer X'te kendinizin gençliğini görüyorsanız X iyi olmalıdır. Bunu ben de yapıyorum ve açıkça söylüyorum. Benim gibi birini işe almak istiyorsanız onları seçmekte çok ustayım. Eğer benim iyi olmadığım –hatta pek değer vermediğim– konularda becerikli olan, benden çok

farklı insanlar arasındaki küçük farklılıkları ayrıştırmak istiyorsanız benim yargılarıma güvenmemelisiniz.[1]

Hakkaniyetli olmaya çalışanlar içinse nasıl nesnel kalınacağına dair bir yöntem de yok. Kimse bana nasıl tavsiye mektubu yazacağıma dair tavsiyelerde bulunmadı ve kendimizde ya da diğerlerinin fikirlerinde olabilecek yanlılığı ya da peşin hükümlülüğü nasıl ayrıştırabileceğime dair kılavuz kitaplara da rastlamadım. Birçok işe alma, terfi ettirme ve profesörlüğe atama komitesinde görev aldım, ama hukuk sisteminde jürilere yapıldığının aksine kanıtları nasıl değerlendireceğime dair hiç eğitim almadım.

Bir keresinde bir akşam yemeği buluşmasında diğer iş kollarındaki insanlara bu tür konularda eğitim alıp almadıklarını sordum. Akademik kariyeri olmayan, ama işe alma ve diğerlerini yönetme görevi olanlar bana peşin hüküm ve haksızlık emarelerini tanımlayabilmek, bunlarla başa çıkabilmek, hiyerarşinin getirdiği etkileri azaltmak ve düşünce özgürlüğünü ve çeşitliliğini özendirebilmek için günler süren eğitimlerden geçtiklerini söylediler. "Kurumlarındaki tüm sesleri dinlemek", iş başvurularında "360 derecelik bir bakış açısı sağlamak" hakkında her şeyi biliyorlardı; sadece başvuruyu yapanı yönetmiş insanlardan değil onun yönettiği insanlardan da değerlendirmeler istiyorlardı. Eğer, hukukçuların, bankacıların, televizyon prodüktörlerinin ve gazete editörlerinin hakkaniyetli ve akılcı kararlar alabilmek için yönlendirmeye ihtiyaç duydukları düşünülüyorsa, neden biz akademik bilimciler bu melekelere otomatik olarak sahip olduğumuzu sanıyoruz?

Durum bundan da kötü. Tavsiye mektuplarının düzleminin dışında, uzmanlara resmi olmayan kanallardan fikirlerinin sorulduğu emniyetli bir ilişkiler ağı mevcut: "Şu şu hakkında ne düşünüyorsunuz? Sizce kimi işe alalım?"

Bu konuşmalar açık sözlü ve dobradır. Eldivenler çıkarılmıştır. Ve bu da o kadar kötü değildir. Birçok insan samimi olarak

[1] Bu durumun talihsiz bir istisnası da var; eğer bir profesör kendi gençliğine benzeyenden ürkerse bilimsel tutuculuk adına kendi gençliğinin risk almaya hazır yapısını reddedebilir.

yardım etmeye çalışır ama ortalama nesnellik seviyesi şaşırtıcı ölçüde düşüktür. Ve tam da bu ağın içinde, kendi ya da arkadaşlarınızın öğrencilerini kayıracak şekilde sistemle oynamanın bir bedeli yoktur. Sağlam yeri olan uzmanların, kendi öğrencilerini neredeyse mantıksızca diğerlerinden –özellikle yarıştıkları bir diğer uzmanınkilerden– üstün göstermeleri gayet rastlanır bir durumdur.

Bu açık sözlü fikir alışverişlerinde olumsuz nitelemeler pek duyulmaz. Örneğin söyleyecek iyi bir şeyi olmayan birisi, "Hadi, devam edelim artık. Pek yorum yapmak istemiyorum" ya da daha da yumuşak bir şekilde "Pek heyecanlandırıcı değil" gibi şeyler söyler. Yine de bazen birisinin ismi ortaya konulduğunda, "Kesinlikle olmaz!" ya da "Oralara girmeyelim" ya da "Şaka mı yapıyorsun?" ya da kesin olarak "Cesedimi çiğnemeniz lazım!" gibi yorumları duyabilirsiniz. Bu tür durumlarda gördüm ki adaylar üç genel kategoriye ayrılıyor: (1) Kadınlar, (2) beyaz olmayanlar, (3) ve/veya ana akımı izlemek yerine kendi araştırma programını oluşturmaya çalışanlar. İtiraza uğramayan kadın ve beyaz olmayan adaylar da var şüphesiz. Ama kendi tecrübeme göre, bu tür durumlarda adaylar iyi belirlenmiş bir ana akım araştırma programına bağlı oluyor.

Matematik ya da astronomi gibi diğer dallarda olduğuna nazaran fizikte kadınların ya da siyahların neden azınlıkta olduğu hakkında ateşli bir tartışma var. Bence cevap basit: kaba bir önyargı. İşe alma komitelerinde uzun süre yer alıp da bu tür önyargıların olmadığını söyleyen biri dürüst olamaz ya da kördür. Örnekler vermemi engelleyen ahlaki ve gizlilik kuralları var ama bu konuyu ayrıntılı olarak tartışan araştırmalar mevcut.[2]

Belki de alanımızda önyargıların çok şiddetli olması beklenen bir durumdur. Önde gelen fizikçilerden kaçı bir zamanlar

---

2 Örnek olarak, "A Study on the Status of Women Faculty in Science at MIT," vol. XI, no. 4, Mart 1999. Çevrimiçi olarak http://web.mit.edu/fnl/women/women.html adresinden bulunabilir. Bilimde kadınların yeri hakkında daha fazla bilgiyi Amerikan Fizik Cemiyetinin http//:www.aps.org/educ/cswp/ ve Harvard Üniversitesinin Akademik Çeşitliliği Komitesinin http://www.aps.org/educ/cswp/ sayfalarından elde edinebilirsiniz.

havalı çocukları (tüm kızların hayran olduğu) matematik derslerinde –olabilecek tek yerde– geçerek intikamlarını alan, kendine güveni olmayan, küçük, sivilceli çocuklar değildi ki? Ben bunlardan biriydim, en azından bu havalı çocukların bildiği şeyi fark edene kadar: Her şey kendine güvenle alakalıydı. Yine de örneğin cebirde kendimi yetersiz hissettiğimi hatırlıyorum ve, en azından kendi açımdan söyleyebilirim ki, matematiksel yetenekleri erkeklikle bağdaştırmak diye bir şey vardır ve bu derinlere iner. Ama o zaman, neden kadınlar saf matematikçi olarak fiziğe nazaran daha kolay iş buluyorlar? Çünkü matematik alanında iyi bir şey yaptığınızda bu daha açıkça görülür. Bir teorem ya ispatlanmıştır ya da ispatlanmamıştır ama kuramsal fizikçileri sıralamakta kullanılan yargılar çok daha belirsiz ve kayırmaya açıktır. İyi bir kuramsal fizikçiyi örneğin sadece iddiacı bir kuramcıdan ayırmak zordur. Öte yandan, başka bir örnek vermek gerekirse, müzik alanında yetenekli kadınlar her zaman vardı ama ancak sınamalar sanatçı gözükmeden, bir perde arkasından icra ederek yapılmaya başlandığında orkestralarda çalışan kadınların sayısı artmaya başladı.

Bu yüzden pozitif ayrımcılık denen mekanizma var. Kendi deneyimlerime dayanarak söyleyebilirim ki, gerçekten hak etmediği halde pozitif ayrımcılıkla iş elde edebilmiş bir kadın ya da Afrika kökenli Amerikalı tanımadım; yani zaten en güçlü aday olmadan. İşe alma komiteleri beyaz erkeklerden oluşmamaya başladığı ve önyargılar yüzünden gelen şikâyetler kesildiği zaman pozitif ayrımcılığı biraz azaltabiliriz. Şu andaki durumda, değişik olanlar –bir şekilde güçlü, yaşlı erkek fizikçileri rahatsız edenler– işe alınmıyor. Görünür şekilde değişik olanlar içim pozitif ayrımcılık çalışıyor, kadınlar ve siyahlar gibi. Ama ya sadece değişik *düşünen,* kendi fikirleri uğruna ana akım yönelimleri reddeden insanlara ne olacak? Onlar için de bir pozitif ayrımcılık olmalı mı?

Birçoğumuz, eş denetim pratiğine ahlaki ve nesnel seçimler yapmak üzere iyi niyetlerle iştirak ederiz. Ve diğer her şey eşit olduğunda en hak eden aday seçilir. Yani aynı çevreden ve yaş grubundan, aynı çalışma programını izleyen, beyaz erkek aday-

lar arasında sistem genel olarak en zeki ve en çok çalışanı seçecektir. Ama sorun, diğer her şeyi eşit hale getirine kadar akla karayı seçeceğinizdir. O ana kadar süreç tamamen politik olarak işleyecektir. Bu, güçlü ve yaşlı bilimcilerin genç bilimciler üzerinde güç kullanmasının temel mekanizmasıdır.

Bu durum da, genç bilimcileri kendi yollarına çekmek için yaşlı bilimciler tarafından zorlama bir fikir birliğinin dayatılmasına varıyor. Bu gücü kullanmanın basit yolları var. Örneğin bir üniversitede işe başlamak için bir adayın, hepsi kendinden daha kıdemli ve güçlü birçok bilimcinin tavsiye mektubuna ihtiyacı vardır. Genel olarak tek bir pek de iyi olmayan mektup iş görüşmesini bile engelleyecektir. Bu karman çorman tavsiye mektupları dünyasını ilk gördüğümde kafam karışmıştı. Açıkçası, aklınızda aday hakkında fikirler edinmeniz için üç dört mektup yeter. Neden üst seviye üniversiteler on ya da on beş mektup istiyorlar?

Bunun sebeplerinden biri işe alma sürecinin amacının sadece iyi bir bilimciyi üniversiteye kazandırmakla sınırlı olmaması. İşe alma komitelerinin, bölüm başkanlarının ve dekanların bölümlerin seviyesini yükseltmek (ya da en azından aynı seviyede tutmak) gibi daha başka amaçları vardır. Burada, genç bir bilimcinin gelecek vadetmesinden daha ölçülebilir, sayılarla ve sıralamalarla ifade edilen, bir şeyden bahsediyorum. Bu sıralamalar, atıf ve proje sayıları gibi veriler üzerinden üniversite dışı insanlar tarafından yapılır. Bölüm başkanları ve dekanlar bu tür şeylere dikkat ederler çünkü bunların yönetici olarak kariyerleri üzerinde önemli parasal etkileri vardır. İlk olarak çok projesini kabul ettirip para bulabilecek insanları işe almak önemlidir. Bu yaklaşım otomatik olarak zaten ortama iyice nüfuz etmiş ana akım araştırma programlarını diğerlerine göre avantajlı hale getirir. Birçok tavsiye mektubu isteyerek adayın ana akımdaki kıdemli araştırmacılar tarafından nasıl değerlendirildiğini görürsünüz. Demek ki amaç, olasılıkla iyi bilim yapabilecek iyi birini değil, kısa zamanda bölümün getirisini optimize edecek birini bulmaktır. Bu yüzden bu tür işe alma komiteleri, hangi adayın gelecek, sözgelimi, yirmi yılda yaratıcı fi-

kirleri olabileceği gibi uzun vadeli kaygılara pek rağbet etmezler. Bunun yerine, on ya da on beş kıdemli bilimciden adayın kendi camialarının ileri gelen bir mensubu olduğunu öğrenmek isterler.

Ama bu kadar fazla sayıda iyi tavsiye mektubu bulabilmek için zaten büyük bir araştırma programının bir parçası olmanız gerekir. Eğer kıdemli bilimci sayısının 10'dan az olduğu bir araştırma programına dahilseniz büyük ihtimalle sizin araştırmalarınıza ve fikirlerinize karşı olan ve hatta rekabet içindeki bir diğer grubun bir mensubundan tavsiye mektubu istemek zorunda kalabilirsiniz. Kısacası bu yüksek sayılar güvenlik içindir. Büyük araştırma programlarının tahakküm kurmasına şaşırmamalı!

Bu durum, hiç şüphesiz sicim kuramına yaradı ve alternatif araştırma yapanların hayatını zorlaştırdı. *New York Times* gazetesinde yakınlarda çıkan bir makalede yazıldığı gibi, "Bilimcilerin nihai bir kuram olduğuna inandıkları şeye varmak için ufak tefek parçalardan daha fazlasına ihtiyacı var. Buna rağmen, genel olarak deneyci muzafferlere giden ulusal teşvikler, prestijli ödüller ve profesörlük kadroları gibi ganimetleri sicim kuramcıları daha şimdiden tekellerine almış görünüyor." Aynı makalede, şu anda California Üniversitesi Santa Barbara'daki Kavli Kuramsal Fizik Enstitüsü müdürü olan David Gross'un şöyle dediği de aktarılıyor, "Bugünlerde havalı ve genç bir sicim kuramcısıysanız, işi halletmişsinizdir."[3]

Burada sicim kuramını eleştirme amacı gütmüyorum; sicim kuramcıları herhangi bir baskın araştırma programının mensupları nasıl davranırsa öyle davranıyor. Sorun, akademik dünyada sonuçları pek gözetmeden ve saldırgan bir şekilde teşvik edilen bir araştırma programı tarafından ele geçirilmeye müsait karar alma mekanizmaları olması. Bir zamanlar aynı sistem sicim kuramcıları aleyhindeydi. Gazeteci Gary Taubes şöyle yazıyor,

---

[3] James Glanz, "Even Without Evidence, String Theory Gains Influence," *New York Times*, 13 Mart 2001.

> 1985 yılının 4 Ağustosunda, CERN'deki kafeteryada Alvaro de Rujula ile oturmuş bira içiyorduk... De Rujula, moda olduğu için kuramcıların yüzde doksanının süpersicimler ve süpersimetri üzerinde çalışacağını iddia etti. Bunun pek de sağlıklı olmadığını söylediğinde ben de ona ne üzerine çalışmak istediğini sordum. Doğrudan cevap vermek yerine şunları söyledi. "Süpersicim kuramının gelişmesinde en önemli rolü oynayan Green ve Schwarz'ın o zaman moda olmayan bir konu üzerine on, on beş yıl düzenli bir şekilde çalışmış olduğunu hatırlamamız gerekir. Hatta inatçı bir şekilde konu üzerine odaklandıkları için onları alaya bile alıyorlardı. Bu yüzden, birileri gelip de sizi son derece moda olmuş bir konu üzerine çalışmaya ikna etmeye çalıştığında en önemli ilerlemelerin moda olmayan konular üzerine çalışanlar tarafından yapıldığını hatırlamak şarttır."[4]

Bir keresinde bu durumu önemli bir üniversitenin bir bölüm başkanıyla konuşmuştum; 1980'li yılların başında John Schwarz'ı işe alma konusunda kimseyi ikna edemediğinden yakınmıştı. "Çok zeki bir kuramcı olduğundan kimsenin şüphesi yoktu," demişti, "ama onları ikna edemedim çünkü çok saplantılı olduğunu ve belki de sicim kuramı dışında hiçbir konu üzerine çalışmayacağını söylediler. Bugünlerdeyse meslektaşlarımı sicim kuramcısı *olmayan* birini işe almaya ikna edemiyorum."

Bunlar üzerine, Abraham Pais ile de konuştuğumuzu hatırlıyorum. Kendisi parçacık fizikçisidir ve Bohr ile Einstein'ın biyografilerini de yazmıştır. Onunla ara sıra New York'taki Rockefeller Üniversitesinde öğle yemeği için buluşuyorduk. Pais orada profesördü ve benim de bir zamanlar orada bir ofisim olmuştu. "Hiçbir şey yapamazsın," dedi bana. "Benim zamanımda da bunların hepsi rezildi!"

Bence Pais biraz konudan sapıyordu. Bu insanlarla alakalı bir durum değil, akademik karar alma mekanizmalarını nasıl oluşturduğumuzla ilgili. Bilimi ilerletmek için ihtiyacımız olan bilimci tipinin eşit haklar elde edebilmesiyle alakalı.

Sistemin, fizikteki kriz hakkında merkezi önemde olan bir başka etkisi daha var: Çok etkileyici teknik becerilere sahip

---

[4] Gary Taubes, *Nobel Dreams: Power, Deceit and the Ultimate Experiment*, New York: Random House, 1986, sayfa 254-55.

ama kendilerine ait fikirleri olmayan insanlar kendine has fikirlere sahiplere nazaran rağbet görüyor. Bunun kısmi bir sebebi kendi kendine düşünen genç bilimcileri sıralamak için basit bir yöntemin olmaması. Sistem sadece normal bilim yapmak için tasarlanmamış, aynı zamanda *yapılan tek bilim türünün normal bilim olmasını sağlamaya* da yarıyor. Yüksek lisans eğitimim bitip de ilk iş başvurumu yaptığımda bu bana açık şekilde ifade edilmişti. Bir gün, başvuruların sonuçlarını beklerken bir arkadaşım, oldukça kaygılı bir ruh halinde bana geldi. Kıdemli bir meslektaş ona benim bir iş bulmamın pek mümkün olmadığını çünkü beni diğerleriyle mukayese edebilmenin imkânsız olduğunu söylemiş. Eğer bir iş bulmak istiyorsam kendi fikirlerim üzerinde çalışmayı bırakıp diğerleri ne yapıyorsa onu yapmalıymışım, çünkü ancak o zaman beni diğerleriyle birlikte sıralayabilirlermiş.

Bunun hakkında ne düşündüğümü hatırlamıyorum ya da beni kaygıdan neden delirtmediğini. Bir iş teklifi alabilmek için diğerlerinden iki ay daha fazla beklemiştim ve bu da hiç eğlenceli değildi. Çoktan, kendi araştırma zamanımdan çok ödün vermeyecek şekilde kendimi nasıl destekleyebileceğimi düşünmeye başlamıştım. Ama tam o anda şansım açıldı. Santa Barbara'daki kuramsal fizik enstitüsü yeni açılmıştı ve kuantum kütleçekim üzerine bir programları vardı. Yani kariyerim sona ermedi.

Ama o zaman neler olduğunu ancak şimdi anlayabiliyorum. Kimse bilinçli bir şekilde ahlaksızlık etmiyordu. Arkadaşım ve bahsi geçen meslektaşı anladığım kadarıyla benim için en iyisini düşünerek bana o sözleri söylemişlerdi. Ama bir sosyolog durumu şöyle ifade edecektir. Arkadaşıma benim hakkımda tavsiyeler veren insan önemli hesaplamalar gerektiren yeni bir araştırma programı oluşturmuştu. Bu programın, zeki, çevik ve genç kuramcılara ihtiyacı vardı. Bana asıl söylemek istediği eğer onun programına katılırsam bana bir kariyer sağlayacağıydı. Dünyadaki en eski numara: Bir işçi emeği karşılığında yaşama şansı elde ediyor.

Bu teklif türlü şekillerde yapılabilir, kabul edenler ödüllendirilip asiler –yaşlılar yerine kendi fikirleri üzerine çalışmayı

isteyenler– cezalandırılır. Arkadaşım Carlo Rovelli Roma'da bir iş sahibi olmak istiyordu. Ona şu şu profesöre gitmesi söylendi. Profesör ona kendi grubunu ve heyecan verici yeni araştırma programı hakkında her şeyi söyledi; çok dost canlısıydı. Carlo ona bu içerikli konuşma için teşekkür etti ve kendi araştırma konularından bahsetmeye başladı. Görüşme bundan sonra kısa sürede sona erdi ve Carlo işi alamadı. Neler olmuş olduğunu ona anlatmam gerekti. Hepimizin bir zamanlar olduğu gibi o da, kendine has fikirlere sahip olduğu için ödüllendirileceğini sanacak kadar saftı.

Nihayetinde Carlo, ancak alanında Avrupa'daki en önde gelen isim olduğunda, Roma Üniversitesinde bir iş bulabildi. Ancak başka bir yerde önemli bir kariyer kurduktan ve yüzlerce insan onun fikirleri üzerine çalışmaya başladıktan sonra, Roma'daki önde gelen profesörler doktorasını henüz yeni bitirmişken onlara iletmiş olduğu fikirleri dinlemeye istekli hale geldiler.

Carlo'nun en başta başka bir yerde nasıl iş bulabildiğini merak ediyorsunuzdur. Size anlatacağım. O zamanlar, 1980'lerin sonlarında, genel görelilik kuramı araştırma alanına Einstein'ın öğrencilerinin öğrencilerinden oluşan az sayıda yaşlı bilimci önderlik ediyordu ve en cesaretli, en iyi fikirlere sahip gençlerin teşvik edilmeleri gerektiğine güçlü bir şekilde inanıyorlardı. O sıralar, görelilik camiası adı verilen ve ABD'de bir düzine kadar üniversitede araştırma gruplarını içeren bir grubun liderleriydiler. Bir araştırma alanı olarak baskın değillerdi ama yine de az sayıda iş pozisyonunu –belki iki üç yılda bir tek bir iş– kontrol ediyorlardı. Carlo o sırada Roma'da bir doktora sonrası araştırmacıydı ama bazı bürokratik sorunlar yüzünden, işi ne resmiyet kazanmış ne de hiç maaş alabilmişti. Her ay ona bir sonraki toplantıda bazı kağıt işleri halolduktan sonra sorunun çözüleceği söyleniyordu. Böyle geçen bir buçuk yıl sonra ABD'deki arkadaşlarını arayıp, İtalya'dan ayrılmayı istememiş olduğunu ama artık gına geldiğini söyledi. Peki ABD'de hiç iş var mıydı? İşe bakın ki, görelilik merkezlerinden biri bir yardımcı doçent arıyordu ve onun başvurabileceğini duydukları anda onu hemen bir uçağa bindirip birkaç hafta içinde de bir

görüşme ayarladılar. Şunu söylemek gerekir ki bunu yapanların hiçbiri o esnada o görelilik merkezinde çalışmıyordu; Carlo'ya yardım ettiler çünkü o önemli ve orijinal fikirleri olduğunu ispatlamıştı.

Bugün böyle bir şey olabilir mi? Pek mümkün değil, çünkü günümüzde görelilik alanı bile kıdemli bilimcilerin oluşturduğu kesin konulara yoğunlaşmış geniş bir araştırma programı tarafından ele geçirilmiş durumda. Bu program kütleçekim dalgalarının deneysel olarak gözlenmesi umutları (bunca yıldan sonra hâlâ bir umut) ve bu deneylerin neler görebileceği üzerine bilgisayar simülasyonları üzerine eğiliyor.* Bugünlerde bu konularda çalışmayan genç bir genel görelilik ya da kuantum kütleçekim uzmanının ABD'de herhangi bir yerde iş bulabilmesi pek mümkün değil.

Alan ne olursa olsun, başarının o güzel tadını alınca o asi gençler araştırma programını tutucu bir şekilde koruyan muhafazakârlara dönüşebiliyor. Mensubu olduğum kuantum kütleçekim araştırma camiasında bile araştırma alanının teknik ayrıntılarını yerine getirebilecek birini işe almak yerine alan dışında çalışan ama özgün fikirleri olan birini tercih ettiğim için birden fazla kere eleştiriye uğradım.

Burada aslında iki unsur var ve bunları ayrıştırmak önemli. Birincisi genç ve yaratıcıyken kurdukları araştırma alanlarını sonraları da desteklemek için güçlerini kullanan kıdemli bilimcilerin karar alma mekanizmalarını etki altına almaları. İkincisi de, üniversitelerin işe almak istedikleri ve alabildikleri tip bilimciler. Bir alanda çalışan herkesin anlayabileceği ve takdir edeceği çalışmalar yapanları mı işe alıyorlar? Yoksa, anlaması en başta zor olabilse de, kendi araştırma yönlerini icat edenleri mi?

Bunlar riske dayalı konular. Tavsiye mektubu yazanlar iyi bilimciler hakkında genel olarak iki tepki verirler. Normal, düşük riskli çalışan bilimciler genel olarak türdeş bir değerlendirme alırlar; herkes onlar hakkında aynı şeyi düşünür. Yüksek

* Kütleçekim dalgaları LIGO deneyi tarafından 2015 yılında keşfedildi –yn.

risk alan ve ileri görüşlü olanlarsa güçlü şekilde ikiye ayrışmış tepkiler alır. Bazıları bu insanlar hakkında çok olumlu yazılar yazar ve mutlaka işe alınmaları gerektiğini söyler. Diğerleriyse son derece eleştireldir.

Aynı duruma öğrenciler öğretmenlerini değerlendirdiğinde de rastlarız. Öğrencilerin hakkında nötr kalamadığı öğretmen tipleri vardır. Bazıları onu çok severler ve derler ki, "Bu gördüğüm en iyi hoca, bu yüzden üniversiteye gittim işte." Ama diğerleri hem kızgın hem de içerlemişledir ve değerlendirme formunda gemi azıya alırlar. Eğer sayıların ortalamasını alırsanız –verileri tek bir sayıya indirgerseniz– bu önemli unsuru gözden kaçırırsınız bu da hocanın ilerleme şanslarını baltalayabilir.

Yıllar boyunca fark ettim ki, değerlendirmelerdeki bu tür bir kutuplaşma ilerde bir bilimci için başarının ve etkinin göstergesi oluyor. Eğer bir X için bazıları bilimin geleceği diğerleri de bir felaket olduğunu düşünüyorsa, bu belki de X'in kendi fikirlerini ilerletmek için hırsla çabalayacağını ve bunu gerçekleştirmek için de gerekli teknik donanıma sahip olduğu anlamına gelebilir. Risk alanları kucaklayan bir çevre bu tür insanları arasına alır, ama risk karşıtı bir ortam onları dışlayacaktır.

ABD'deki araştırma üniversitelerine bakarsak, bu tür kutuplaşmış değerlendirmeler almış biri genel olarak işe alınmaz. Bu durumu sadece kendi alanımda gözlemiş olmama rağmen bu genel bir eğilim olabilir. Aşağıdaki, her biri evrimi anlamamızdaki cesaretli ve özgün fikirleri sayesinde beğeni toplamış isimlere bakalım: Per Bak, Stuart Kauffman, Lynn Margulis, Maya Paczuski, Robert Trivers. Bunlardan ikisi doğal seçilim için matematiksel modeller üzerinden çalışmıştır, diğerleri de evrim kuramcılarıdır. Hiçbiri kariyerlerini en iyi üniversitelerde yapmadı. Gençken bu duruma çok şaşırırdım. Biraz sonra anladım ki onlar da entelektüel açıdan özgür insanlardı. Onlar hakkında fikirler de kutuplaşmış haldeydi: Birçok bilimci onları beğeniyordu ama onlara kuşkuyla bakan güçlü akademisyenler de vardı. Gerçekten de söyleyebiliriz ki özgün fikirlerin sahipleri çoğu zaman normal bilimcilerin mükemmeliyet ölçülerine göre hatasız olmayanlardan çıkabiliyor. Bu tür insanlar

çok cesur olabilirler. Ayrıntılar hakkında dikkatsiz ve teknik açılardan yetersiz olabilirler. Merakları ve bağımsızlıkları sayesinde eğitim almadıkları konulara yönelen özgün düşünürler hakkında da çoğunlukla bunları söyleyebiliriz. İçgörüleri ne kadar özgün ne kadar faydalı olsa da, çalışmaları konunun uzmanları için teknik açılardan etkileyici olmaktan uzak kalacaktır.

Bu yaratıcı ve özgün bilimcilerin bazılarının pek kolay insanlar olmadığı da doğrudur. Sabırsız olabilirler. Sizle anlaşmazlığa düştüklerinde kendilerini fazla dolaysız ifade edebilirler ve doğru olmak yerine bir gruba mensubiyete önem verenlerde genel olarak gördüğümüz o uyumlu alışkanlıklardan yoksundurlar. Böyle "zor" birçok insan tanıdım ve kızgınlıklarının sebebi çok zeki kadın bilimcilerinkiyle aynı: Bir ömür boyunca diğerleri tarafından marjinal hissettirilmenin acısı.

Bu tür sorunlar, birkaç yıl önce 54 yaşında kanserden ölen, Per Bak'ın kariyerini de etkilemiş. Kendi uzmanlık alanı dışında, ekonomiden kozmoloji ve biyolojiye kadar uzanan geniş bir yelpazede makaleler yazma yeteneğine sahipti; bu enderdir. Onu kapışmaları ve en iyi üniversitelere çağırmaları gerekirdi ama bunun tam tersi oldu çünkü örneğin kendi yaklaşımlarının konudaki uzmanların gözünden kaçan sonuçlara vardığını ifade etmekten kaçınmıyordu. Eğer yaratıcılığını tek bir alana adasaydı çok daha iyi bir kariyer sahibi olurdu ama o zaman da Per Bak olmazdı.

Bölüm başkanı ya da dekan olmuş bütün o zeki insanların bunun nasıl farkına varmadıklarını ve üniversitelerinin yararına kullanmadıklarını merak edebilirsiniz. Bunu yapan birkaç kişi şüphesiz ki var ve bunlar bahsini ettiğimiz tip bilimcileri işe alırlar. Son birkaç on yıldır, ABD'de kuantum kütleçekim konusuna sicim dışı yaklaşanların elde ettiği az sayıda işin çoğu bu konuda hiç çalışanın olmadığı üniversitelerin bölüm başkanlarının elde ettiği ender fırsatlar sayesinde gerçekleşti. Olağan bölüm politikalarından azade, bu çalışma programını üniversiteye ekleyip üst seviye bir grup kurarak bölümün konumunu iyileştirmek için rahatça risk analizi yapabildiler.

Gerçekten de bu bahsettiğimiz konular bilimi genel olarak etkisi altına almış durumda ve diğer alanlardaki az sayıda kıdemli bilimci kaygılarını dile getiriyor. Bruce Alberts bir biyologdur ve Birleşik Devletlerde'ki en etkili bilim kurumu olan Ulusal Bilimler Akademisinin de eski başkanıdır. 2003 yılında başkan olarak yaptığı konuşmada şunları söyledi:

> Genç bilimciler için yarattığımız teşvik sistemi çok risk karşıtı. Birçok açıdan kendi kendimizin kuyusunu kazıyoruz. Eşgüdüm değerlendirmeleri için kurduğumuz komitelerdeki bilimciler risk alanları beğendiklerini söyleseler de kaynakları genel olarak ana akıma yönlendiriyorlar. Bunun icat mekanizmasını durdurucu etkisi çok fazla çünkü araştırma üniversiteleri yeni yardımcı doçentler seçerken teşvik alabilecek olanlara öncelik veriyorlar. Bu durum da genç bilimcilerimizin çoğunun "ben de, ben de" bilimi yapıyor olmasını açıklıyor.

Bunun ardından açıkladığı olgu çok ilginçti: 1991 yılından sonraki on yıl boyunca Ulusal Sağlık Enstitüsünün otuz beş yaş altı araştırmacılara giden teşvikleri yarıya inmiş ama elli beş yaş üstü olanlarınki iki katına çıkmıştı. Bu durumdan yakınıyordu çünkü genç araştırmacıların entelektüel özgürlüklerini son derece kısıtlamıştı:

> Neslimden birçok meslektaşım gibi ben de ilk bağımsız teşvikimizi aldığımızda otuz yaşın altındaydık. Elimizde ön sonuçlar dahi yoktu çünkü yepyeni şeyler deniyorduk. Bugünlerde pek az insan otuz beş yaş altında bağımsız bir bilimsel kariyer oluşturacak imkânları bulabiliyor. Dahası, 1991 yılında Ulusal Sağlık Kurumu teşviklerinin üçte biri kırk yaş altı bilimcilere gidiyor olmasına rağmen 2002 yılına gelindiğinde bu oran altı da bire düşmüş durumda. En yetenekli gençlerimiz dahi "ön verileri" bulup komiteleri iddialarını ispatlayabileceklerine ikna edene kadar yıllarca teşvik başvurularının reddine katlanmak zorundalar.

Amerikan biliminin en önemli liderlerinden birine göre sorun bu kadar açıkken neden bir şeyler yapılmıyor? Bu uzun süre kafamı karıştırmıştı. Şimdi anlıyorum ki akademik konumları kazanma ve elde tutma yarışında en önemli etken liyakat değil.

Sistem en iyi ve en üretken insanları seçmeye çalışıyor ve bir yere kadar bunu başarıyor da. Ama işin içinde diğer dinamikler de var ve bunları ihmal etmek saflık olur. Aynı şekilde bu karar mekanizmaları belli bir araştırma alanında fikir birliği oluşumunda da baskın.

Bu fikir birlikteliklerini oluşturmak sadece işe almaları kontrol ederek olmuyor. İşe almalar hakkında söylediğim her şey teşvik primlerini dağıtan paneller için de geçerli, profesörlüğe yükseltmelerde de. Bunlar birbirlerine bağlı çünkü eğer araştırma teşvikleri almada başarısız olursanız ABD'de bir araştırma üniversitesinde profesörlüğe yükseltilmezsiniz ve bu teşvikleri alma ihtimaliniz düşük gözükürse zaten işe de alınmazsınız.

Bunu fark etmemden birkaç ay önce üniversitelerin yönetim kadroları için çıkan *Chronicle of Higher Education* adlı bir dergide başka bir konuda bir yazı yazmam istenmişti. Editörlere bana söyledikleri konu yerine baskın araştırma programlarının akademik özgürlüğü tehdit etmesi üzerine yazmak istediğimi söyledim. Olur dediler ama yazımın ilk örneğini gördükleri anda reddettiler. Çok kızmıştım: muhalefeti susturuyorlardı! Bunun üzerine normalde yazmayacağım kadar tatsız bir e-postayla kararlarını sorguladım. Hemen cevap verdiler. Dediler ki, makalemi reddetmelerinin sebebi radikal olması değil, tam tersiymiş. İçinde yazanların çoğu sosyal bilimsel alanlarında çoktan ifade edilmiş durumdaymış. Bana geçen yıllarda akademik karar alma mekanizmalarındaki güç ilişkileri üzerine birçok makale yolladılar. Bu makaleleri hemen okudum ve anladım ki sadece temel bilimciler bu konulardan bihabermiş.

Açıkçası, profesörlüğe yükseltilmeyi herkes ister; avantajları vardır. Bir yere kadar özgün ve bağımsız çalışanları işten atılmaktan ve yerinize son moda araştırmalar yapan genç birinin gelmesinden korur. Ama bu profesörlük sistemi için çok büyük bir bedel ödüyoruz: *Yaşlıların elinde çok fazla iş güvencesi, çok fazla güç ve çok az cevap verme sorumluluğu oluyor. Öte yandan kariyerlerinin başında, yaratıcı ve risk alanlar için çok az iş güvencesi, çok az güç ve çok fazla cevap verme sorumluluğu oluyor.*

Bu sistem entelektüel olarak bağımsız olanları korumasına rağmen onları yaratmıyor. Birçok arkadaşımdan duyduğum gibi insanlar profesörlük konumuna gelebilmek için ne modaysa o konuda çalışıp, konumu elde ettikten sonra da ne isterlerse onu yapacaklarını düşünüyor. Ama durum hiç de böyle gözükmüyor. Ben sadece bir örnek biliyorum. Diğer durumlarda olan şu: Eğer birisi profesör olabilme kaygısı altında istediği konularda çalışma cesaretine sahip değilse profesör olduktan sonra bir teşvik komitesi karşısında birdenbire cesur ve bağımsız olmuyor. Profesörlerin entelektüel bağımsızlığını koruyan bir sistem eğer bağımsız olanların profesör olmasını sağlayamıyorsa bir işe yaramaz.

Gerçekten de, daha riskli araştırma alanlarına yönelen profesörler eğer teşvik kanallarını kaybederlerse çok zor durumda kalabilirler. İşten atılmazlar ama aniden yükselen ders yükü ve maaş kesintileri aracılığıyla daha önceki risksiz araştırma programlarına dönmeleri için tehdit edilirler.

İşte, MIT'de matematik profesörü olan Isador Singer'ın kendi alanının durumu hakkında yakınlarda söyledikleri:

> Ekonomik kaygılarla erkenden uzmanlaşma eğilimi görüyorum. İyi işleri erken kapabilmek için gereken iyi tavsiye mektuplarını almak için erkenden gelecek vaat etmelisiniz. Güvenlikli bir işiniz olmadan ana akımdan öteye dallanmaya gücünüz yetmiyor. Hayatın gerçekleri bakış açınızda matematiğe içkin olmayan bir daralma zorluyor. Bu kadar kesif uzmanlaşmayla başa çıkabilmek için yeni kaynaklar bulup gençleri matematiği keşfetmeleri ya da günümüzde daha keşfedilecek çok şeyin olduğu biyolojiyle olduğu gibi diğer alanlarla bağlantıları araştırmaları için daha fazla serbest bırakmalıyız.
>
> Ben gençken iş piyasası iyi durumdaydı. Büyük bir üniversitede olmak yine önemliydi ama küçük bir yerde de ilerleme kaydedebilirdiniz. Bugünkü iş piyasasının aşırı baskıcı tavrından sıkıntı duyuyorum. Genç matematikçilerin bizim gençken sahip olduğumuz özgürlüğe ulaşabilmeleri gerek.[5]

---

5 Isador Singer'la bir röportajdan. www.abel-prisen.no/en/prisvinnere/2004/interview_2004_1.html

Fransız matematikçi Alain Connes'de aynı tür eleştiriler getiriyor:

> ABD'de sistemindeki yayın yapmak için var olan sabit baskı gençlerin "zaman birimini" düşürüyor. İşin başında olanların pek şansı yok: Sosyolojik olarak iyi konumda duran danışmanlar (sonraki safhalarda gerekli tavsiye mektuplarını yazarak öğrencisine iş ayarlayabilecek) bulup teknik bir tez yazarak becerilerini göstermeleri gerekiyor. Bütün bunları kısa zamanda yapmaları gerekiyor ki bu da onların yıllarca sürecek çaba gerektiren konuları öğrenmelerini engelliyor. Tabii teknik yetenekleri yüksek insanlara çok ihtiyacımız var ama onlar araştırmada ilerleme kaydedenlerin sadece küçük bir kısmını oluşturuyor... Benim buradan gördüğüm kadarıyla ABD'deki sistem özgün düşünenlerin cesaretini kıracak şekilde çalışıyor; bu tür insanlar genelde teknik yetenekler açısından yavaş gelişirler. Öte yandan gençlerin iş aradığı piyasanın şekli "feodal yapıların" oluşmasına çanak tutuyor: Yani anahtar üniversiteleri ele geçirmiş, sadece kendini yeniden üreten ve yeni alanlara yer bırakmayan programlar. Bunun sonucunda da az sayıda konu üzerine çalışılıyor ve öğrenci yetiştiriliyor. Bu da yeni alanların ortaya çıkmasını sağlamaktan tabii ki uzak.[6]

Yakın on yıllar boyunca, iş dünyası hiyerarşik yapıların çok yüksek bedeli olduğunu gördü ve gençlere daha fazla güç ve bakış açısı sağlamak üzere konumlandı. Örneğin şu anda yirmili yaşlarının sonlarında olup büyük projeleri yöneten bankerler ve yazılım mühendisleri var. Arada sırada bu konumda olan genç bir akademik bilimciye rastlayabilirsiniz ama bu ender. Birçok bilimci doktora sonrası araştırmacılık sistemiyle dayatılan çocukluk döneminden otuz beşlerinde çıkıyor.

Yüksek teknoloji üreten firmalar biliyorlar ki genç mühendislerin en iyilerini işe almak için genç yöneticiler gerekiyor. Aynı durum yaratıcılık gerektiren diğer alanlarda da gözlenebilir, örneğin müzik dünyası gibi. Bazı caz müzisyenlerinin ya da yaşlı rock yıldızlarının hip-hop ya da tekno müziği sevdiğine eminim ama müzik endüstrisi hangi genç müzisyenin kayıt

6 Alain Connes'la bir röportajdan, www.ipm.ac.ir/IPM/news/connes-interview.pdf

anlaşması yapacağını 60 yaşındaki eski bir yıldıza sormuyor. Müzik dünyasında yaratıcılık son derece hızlı ve canlı ilerler çünkü genç müzisyenler diğer güçlü sanatçıların rızasına ihtiyaç duymadan dinleyicilerle, radyo ya da kulüpler aracılığıyla bağlantı kurabilirler.

Kuantum mekaniği devriminin tabir yerindeyse öksüz bırakılmış bir bilimci nesli tarafından gerçekleştirilmiş olduğu ilginç bir tespittir. Kendilerinden bir önceki neslin neredeyse tamamı I. Dünya Savaşında katledilmişti. Böylece etrafta bu gençlere deli olduklarını söyleyecek kıdemli bilimci kalmamıştı. Bugün, doktora sonrası araştırmacılarının ve lisansüstü öğrencilerinin kendi gelecekleri için neredeyse emekli olacak olanların da anlayacağı işler yapmaları gerek. Böyle bilim yapmak el freni çekili bir araba kullanmaya benziyor.

Bilim asilik ve saygı arasında bir dengeye ihtiyaç duyar, böylece köktenciler ve muhafazakârlar arasında her zaman tartışmalar olacaktır. Ama şu andaki akademik dünyada denge yok. Bilim tarihinde daha önce olmadığı kadar kartlar devrimcilerin aleyhine dağılmış durumda. Basitçe, bu tür insanlara araştırma üniversitelerinde yer yok. Bu durumda, bilimin açıkça bir devrime ihtiyacı olduğunu bilmemize rağmen bunu becerememememize şaşmamak gerek.

20. BİLİM İÇİN NE YAPABİLİRİZ?

Bu kitapta fizikteki beş ana sorunun neden hâlâ otuz yıl öncekilerle aynı olduğunu anlatmaya çalıştım. Bu öyküyü anlatmak için, sicim kuramına eğildim, ama tekrar etmek isterim ki amacım onu kötülemek değil. Sicim kuramı, iyi çıkış noktaları olan, güçlü bir fikirdir ve üzerinde bugüne kadarkinden çok daha fazla çalışılmayı hak ediyor. Bugüne kadar başarısız olduysa bunun sebebi içsel sorunlarının güçlü yönleriyle sıkı bir bağ içerisinde olmasındandır ve tabii ki perde daha kapanmadı, sicim kuramı hâlâ gerçeğin bir kısmını oluşturabilir. Gerçek soru sicim kuramına neden bu kadar enerji harcamış olmamız değil, neden alternatif kuramlara yeteri kadar kaynak ayırmamış olmamızdır.

Kuantum mekaniğinin temelleri üzerine çalışıp kariyerimi sabote etmek ya da parçacık fiziğine eğilip iyi bir işe sahip olmak arasında karar vermek zorunda kaldığımda, ekonomik ağırlıklı kararın ağır basması için bilimsel bir sav vardı. Önceki on yıllar boyunca, kuantum fiziğinin temellerine nazaran parçacık fiziğinde çok ilerleme kaydedilmiş olduğunu şüphe yoktu. Şu anda yeni mezun olan bir öğrenci bambaşka bir ortamdadır: Durum tersine dönmüştür. Geçmiş yıllar boyunca parçacık fiziğinde az ama kuantum hesaplamanın ortaya çıkışıyla temellerin fiziği üzerinde çok ilerleme kaydedildi.

Uzay, zaman ve kuantum üzerindeki anlayışımızın temelleri üzerine düşünmeden bahsini ettiğimiz beş büyük sorunu çözemeyeceğimiz açık hale geldi. Öte yandan, on yıllar yaşındaki sicim ya da ilmek kuantum kütleçekim gibi kuramları oturmuş paradigmalar olarak kabul ederek de ilerleme kaydedemeyeceğiz. Yeni yönler bulacak cesur, hayal gücü yüksek ve kavramsal derinliğe sahip gençlere ihtiyacımız var. Bu tür insanları belirlemek ve şu anda yaptığımızın tersine cesaretlendirmek için neler yapabiliriz?

Tekrar söylemeliyim ki kuramsal fiziği kıskacına alan bu durağanlık için tek tek bilimcileri suçlayamayız. Tanıdığım birçok sicim kuramcısı çok iyi birer bilimcidir. Çok iyi işler yapmışlardır. Daha da iyisini neden yapmadılar demeye getirmiyorum; sadece aramızdan çıkan en iyi bazılarının en başta çok iyi bir fikir gibi gözükmüş bir yolda başarıya ulaşamamış olduklarına parmak basıyorum.

İşin özü, akademik dünyadaki sosyolojik bir olguyla karşı karşıyayız. 16. Bölümde anlatmaya çalıştığım gibi grup olarak düşünmenin bilimsel ahlakı bir ölçüde yozlaştırdığını düşünüyorum; ama bundan sadece sicim camiasını sorumlu tutmuyorum. İlk önce, kuralları yazan geniş anlamda akademik dünyadır. Bir avukat mahkemede müvekkillerini kanunun el verdiği en etkili şekilde temsil etmeye çalışacaktır. Buna benzer olarak bilimsel araştırma alanlarının liderlerinin de akademik dünyanın yazılı olmayan kuralları çerçevesinde kendi fikirlerini ilerletmek için ellerinden geleni yapacağına inanmalıyız. Eğer bunun sonucunda saldırgan bir şekilde savunulan fikirlere dayanan bir alan ortamı gereğinden erken tahakküm

altına alıyorsa ve bunun sonunda da vaat ettiğinden daha azını ortaya çıkarıyorsa bundan alanın önderlerini sorumlu tutamayız çünkü onlar sadece bilimin nasıl işlediği yönündeki algıları doğrultusunda işlerini yapıyorlardır. Bunun sorumluluğu, bir grup olarak kuralları koyan ve meslektaşlarının fikirlerini değerlendiren bütün bilimcilere yüklenebilir ve böyle de olmalıdır.

Bir alandaki her bulgunun geçerli sayılması için herkes tarafından sınanmasını istemek belki de fazla gelecektir. Bunu alanın teknik detaylarına hâkim uzmanlara bırakabiliriz ve genelde de böyle yaparız. Ama kanıtların ve savların izini sürmek bizim sorumluluğumuzdur. Diğer birçok meslektaşım gibi ben de, sicim kuramı hakkındaki bazı genel kabul görmüş fikirleri, bilimsel yazında destek bulunmasa da kabul etme gafletine düştüm.

Bu durumda doğru soru şu olmalıdır: Bilimsel ahlakın geleneksel kısıtlarına ne oldu? Görmüş olduğumuz gibi akademik

bilimin yapısında kendini eş güdüm ve profesörlük kadroları gibi mekanizmalarla gösteren bir sorun var. Bu, sicim kuramının bu kadar baskın olmasında kısmen rol oynadı ama aynı zamanda devrimci bilimle normal bilimi karıştırmamız da etkili oldu. Sicim kuramı en başta devrimci bilim yapmak için ortaya çıkmıştı ama normal bilim içerisinde sanki sadece başka bir alanmış gibi algılandı.

Birkaç bölüm önce iki tür kuramsal fizikçi olduğundan bahsetmiştim: Normal bilimi yürüten uzman zanaatkârlar ve genel kabul görmüş olmalarına rağmen doğrulanmamış kabulleri hemen fark eden ve yepyeni sorular soran, öngörülü bilimciler, kâhinler. Artık apaçık olmalı ki bilimde devrim yapmak için ikinci türden daha fazlasına ihtiyaç var. Ama yine görmüş olduğumuz gibi bu insanlar eğer tamamen dışlanmamışlarsa da en azından marjinalize ediliyorlar ve artık ana akım bilim camiasının birer mensubu olarak algılanmıyorlar. Eğer bizim neslimiz bilimde bir devrim yapamadıysa, bu akademik dünyayı pek az devrimci içerecek şekilde organize etmiş olmamızdır. Sistem içinde pek az sayıda kalan devrimcinin dediklerini de çoğumuz dinlemiyoruz.

İki şey yapmamız gerektiğine kanaat getirmiştim. Grup düşünmesiyle şekliyle mücadele etmek için yeniden yapılanmalı ve devrim yapmak için gereken nevi şahsına münhasır insanlara yer ayıracak şekilde bağımsız düşünenlere kapılarımızı açmalıyız. Gelecek nesille nasıl ilişkiler kuracağımız bunda çok önemli rol oynayacak. Bilimi sağlıklı tutabilmek için genç bilimciler sicim kuramı ya da diğer oturmuş bir araştırma programına katkı sunup sunmadıklarına bakmadan, yeteneklerine, yaratıcılıklarına ve bağımsızlıklarına göre değerlendirilip işe alınmalı. Kendi araştırma konularını oluşturup geliştirenlere öncelik verilmeli ve böylece en gelecek vaat ettiğini düşündükleri yaklaşımları seçmek için düşünsel özgürlüğe sahip olmaları sağlanmalıdır. Fiziği yönetmek her zaman kararlar almayı gerektirecektir. Çıkmaz sokaklara varabilecek spekülatif fikirlere gereğinden fazla yatırım yapılmasını engellemek için de fizik bölümü bünyelerinde çözülmemiş önemli sorular hakkında di-

ğer fikirler üzerinde çalışanların da yeteri kadar bulunmasına dikkat etmelidir; hangi fikrin doğru çıkacağından emin olamayacağımız için değil, genç ve zeki insanlar kendilerini arkadaşça bir yarış içinde bulduklarında ortaya yepyeni fikirlerin ve yönlerin çıkması çok olası olduğu için.

Açıkça eleştirel ve samimi davranışlar özendirilmelidir. İnsanlar önemli sorunları pas geçen yüzeysel konularda çalıştıklarında cezalandırılmalı ama uzun süredir ucu açık duran kabulleri sınamak için çalışmaya başladıklarında –bu yıllar sürecek olsa bile– mükafatlandırılmalıdır. Uzay, zaman ve kuantum kuramını birleştirmek yolunda rastladığımız temel sorunlar üzerinde derince ve dikkatlice düşünenlere daha fazla yer vermeliyiz.

Bahsettiğimiz sosyolojik sorunların çoğu bilimcilerin –ve aslında tüm insanların– kabileler oluşturmaya yönelik olmasından kaynaklanıyor. Bu kabileleşme eğilimiyle mücadele etmek için, sicim kuramcıları diğer alanlarla aralarına çektikleri sınırları kaldırabilirler. Kuramcıları şu ya da bu sava bağlılıklarıyla kategorize etmekten vaz geçebilirler. Sicim kuramına alternatif kuramlar üzerinde çalışanları ya da sicim kuramını eleştirenleri sicim kuramı konferanslarına çağırmalılar ki herkes bundan faydalansın. Araştırma grupları diğer alanlarda çalışan öğrencilere ve doktora sonrası araştırmacılara yönelmeliler. Öğrenciler yarışan alanların tümü hakkında fikir sahibi olmak konusunda cesaretlendirilmeliler; böylece kariyerleri için kendi seçimlerini kendileri yapabilirler.

Biz fizikçiler yaklaşan krizi göğüslemeliyiz. Hiçbir öngörüde bulunmayan ve böylelikle deneyle hiç bağı olmayan bir kuram hiçbir zaman başarısız olamaz, ama böyle bir kuram bilim deneysel kanıtlar üzerine dayanan akılcı fikirlere dayandığı sürece zafere de ulaşamaz. On yıllar sonra deneysel bir dayanak bulamamış ve kesin matematiksel bir formülasyona ulaşamamış bir araştırma programına sadık kalmanın ne tür bir erdem olduğu samimi bir şekilde değerlendirilmelidir. Sicim kuramcıları diğerlerinin haklılığı kendilerinin de yanlışlığı olasılığıyla yüzleşmeliler.

Son olarak, bilimi destekleyen kuruluşların da bilimi sağlıklı tutabilmek için atabilecekleri birçok adım var. Kurumlar ve teşvik ajansları her seviyede bilimcinin derin ve zor soruları çözmek için verecekleri anlamlı projeleri desteklemeliler. Bir araştırma programının ikna edici bilimsel kanıtlar olmadan sistemik olarak baskınlaşmasına izin verilmemelidir. Bu kanıtlar bulunana kadar diğer yaklaşımlar cesaretlendirilmelidir; böylece yanlış bir yönde gereğinden fazla yatırım önlenmiş olur. Eğer dirençli ama anahtar bir problemden bahsediyorsak, bunu araştırmaya yönelen programlara verilecek desteğin bir sınırı olmalıdır; örneğin toplam ayrılan desteğin üçte biri gibi.

Bu önerilerin bazıları büyük reformlar gerektiriyor. Ama kuramsal fizik söz konusu olduğunda, zaten çok fazla paradan bahsetmiyoruz. Diyelim ki, bir kurum kuantum kütleçekim ve kuantum kuramı hakkında önerilen cesur projelerin *hepsini* destekleme kararı alsın. Tahminen sadece iki düzine kuramcıdan bahsediyor oluruz. Onları tamamen desteklemek herhangi bir büyük ülkenin fiziğe ayrılan bütçesinin ufacık bir kısmıyla gerçekleşebilir. Ama bu tür insanların geçmişte yaptıkları katkılara bakarsak en azından birçoğunun önemli bulgulara varacağını ve bu durumda da bu destek stratejisinin genel olarak en iyi yatırım olacağını söyleyebiliriz.

Gerçekten de, ufak kurumlar bile yardım edebilir. Matematik ya da fizik doktorası olup temel sorunlara kendi yaklaşımlarını getirmeye çalışan bağımsız fikirli insanları arayabilirler; bu tür insanlar daha önce bahsetmiş olduğumuz gibi normal şartlarda hiçbir akademik kariyer yoluna sahip olamayacak kadar sistem dışı işler yapanlardır: Julian Barbour, Antony Valentini, Alexander Grothendieck gibi ya da isterseniz Einstein gibi. Onlara beş yıl destek verin, bir yerlere varıyorlarsa belki ikinci hatta üçüncü uzatmayı da ekleyerek.

Riskli mi geliyor? İngiltere'de Royal Society'nin tam da böyle bir programı var. Şu anda alanlarında önemli birçok bilimcinin kariyerlerinin başında onlara destek oldu. Bu insanlar büyük olasılıkla ABD'de hiç destek bulamayacaklardı.

Desteklemeye değer bu tür insanları nasıl seçeceğiz? Basit. Bu şekilde bilim yapanlara sorun, adayın alanında çalışan ve onun yaptıkları hakkında heyecanlanan en az bir tane iyi bilimci bulun. Tam emin olmak içinse, adayın kötü bir bilimci olduğunu ve kesinlikle başarısız olacağını söyleyen en az bir profesör bulun.

Genel halka yönelik bir kitapta akademik politika konuşmak garip gelebilir, ama siz, birey olarak ve kolektif olarak halk, bizim işverenimizsiniz. Eğer parasını verdiğiniz bilim ilerlemiyorsa bizi eleştirmek ve işimizi yaptırmak size bağlı.

Böylece değişik dinleyici kitlelerine son sözlerim olacak.

Eğitimli kesime: Eleştirel olun. Duyduğunuz her şeye inanmayın. Eğer bir bilimci önemli bir şey yaptığını söylüyorsa kanıtı sorun. Bir ekonomik yatırımı değerlendiriyormuş gibi katı olun. Almayı düşündüğünüz bir eve ya da çocuğunuzu göndermeyi düşündüğünüz bir okula nasıl yaklaşıyorsanız öyle davranın.

Bilimin nasıl yapılacağına karar verenlere; yani bölüm başkanlarına, işe alma komitelerine, dekanlara, kurumların önde gelenlerine ve teşvik kurumlarına: Bahsettiğim tür değişiklikleri ancak sizin konumunuzda olanlar gerçekleştirebilir. Neden kulak vermeyesiniz? Önerdiğimiz şeyler Ulusal Bilim Kurumu, Ulusal Bilimler Akademisi ve dünya çapında muadillerinin tartışması gereken şeyler. Bu sadece kuramsal fiziğin bir sorunu değil. Eğer fizik gibi son derece disiplinli bir alan grup düşünmesi semptomlarından mustaripse kim bilir diğer, daha az kesin, alanlarda neler oluyordur?

Meslektaşlarım kuramsal fizikçilere: Bu kitapta bahsettiğim sorunlar hepimizin sorunları. Bilimsel bir elitin üyeleriyiz çünkü mensubu olduğumuz toplum gerçeğe değer veriyor. Eğer sicim kuramı yanlışsa ve alana hâkim olmayı sürdürürse bunun sonuçları büyük olur; hem birey olarak bizler hem de işimiz için. Alternatif fikirler için kapıları açmak ve fikir yürütmenin standartlarını yükseltmek bizim elimizde.

Açıkça söylersek: Eğer bilimsel yargılarınız sorgulandığında ilk tepkiniz, "X ne düşünüyor acaba?" ya da "Bunu nasıl dersin?

Herkes biliyor ki..." gibi şeyler söylemekse artık bir bilimci olmama tehlikesi içindesiniz. İşinizi yapmak için iyi para alıyorsunuz ve bu da meslektaşlarınızın inandığı her şeyi bağımsız ve dikkatli bir şekilde değerlendirmek sorumluluğu altındasınız demektir. İnançlarınızı ve bağlılıklarınızı kanıtlara dayanarak kesin bir şekilde savunamıyorsanız, kendi düşünmeniz gereken şeyleri diğerlerine (kıdemli ve hatta güçlü olsalar bile) bırakıyorsanız o zaman bilimsel camianın ahlaki yükümlülüklerini yerine getirmiyorsunuz. Doktoranız kendi fikirlerinizi ve yargılarınızı oluşturmanız için bir ehliyet belgesidir. Ama bundan da fazlasıdır aslında; sizi kendi alanınızda eleştirel ve bağımsız düşünmeye zorlamalıdır.

Bu sert oldu. Ama temel konular üzerinde sicim kuramı dışında çalışan bizler için daha sert sözler var. İşimiz yanlış kabulleri elemek, yeni sorular sormak, yeni cevaplar bulmak ve devrimler yapmaktır. Sicim kuramının nerde muhtemel bir yanlışlık içinde olduğunu görmek kolay, ama sicim kuramını eleştirmek işin tamamı değil. İş doğru kuramı icat etmek.

En sert eleştirileri kendime yönelteceğim. "Eğer bu kadar zekiysen, neden sicim kuramcılarından daha iyi işler yapamadın?" diyecek bazı okurlar olacağını tahmin ediyorum. Ve haklı da olurlar. Çünkü sonuçta bu kitap bir tembelliğin sonucu. Şüphesiz ki, kitabı yazarken içindeki fikirleri izleyeceklerin işini kolaylaştırmayı umuyordum. Ama benim sanatım kuramsal fizikçilik ve asıl görevim Einstein'ın başlatmış olduğu devrimi tamamlamak. Bu işi beceremedim.

Peki ben ne yapacağım? Hayatın bana bahşetmiş olduğu iyi kaderden faydalanacağım. Başlangıç olarak, "Kuantum ve Termal Dalgalanmalar Hakkında" başlıklı makaleme tekrar döneceğim. Sonra telefonu ve BlackBerry'yi kapatacağım, sonra müzik setine Bebel Gilberto, Esthero ve Ron Sexsmith koyup sesi sonuna kadar açacağım, kara tahtayı sileceğim, iyi bir tebeşir bulacağım, yeni bir defter açacağım, en sevdiğim kalemimi alacağım, oturacağım ve düşünmeye başlayacağım.

DİZİN

Kuantum kütleçekim alanında dünyanın önde gelen fizikçilerinden Lee Smolin bu kitabında, günümüzde fiziğin karşı karşıya kaldığı zorlukları ele alıyor. En çok üzerinde durduğu sicim kuramları, ek boyutlar, egzotik parçacıklar, çoklu evrenler gibi, hayal gücünü harekete geçiren spekülatif kuramların deneylerle test edilme olanağı olmadığını söyleyen Smolin, fizik biliminde daha çok açıklık, test edilebilirlik ve gerçek dünyayla yakın ilişki olması gerektiğini savunuyor. Smolin'e göre bütün kaynakların bu tür ispatlanamayan kuramlara aktarılması yanlış. Bilimin nasıl olması gerektiğini de sorgulayan *Fiziğin Krizi*, bilim sosyolojisi tartışmalarına önemli bir katkı sunuyor.

"Smolin harika bir yazar ve kapsamlı bir düşünür."
–Sean Carroll, *Zamanın Kozmolojik Tarihi*'nin yazarı

"Kuramsal fiziğin önemli konularının olağanüstü bir değerlendirmesi..."
–*The San Francisco Chronicle*

"Az rastlanır bir açıklık ve sağlam argümanlarla hazırlanmış."
–Tim Ferris

"Yaşadığımız evrene yeni bir gözle bakmak isteyenler bu kışkırtıcı ve ilham verici kitabı mutlaka okumalı."
–Margaret Geller

"Günümüz biliminin nereye gittiği hakkında şimdiye kadar okuduğum en iyi kitap."
–*The Times of London*



ALFA
alfakitap
alfakitap
alfakitap
www.alfakitap.com



BİLİM